

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS  
UNIFAMILIARES NO MUNICÍPIO DE IMBITUBA - SC**

**DOUGLAS ANCELMO FREITAS**

**FLORIANÓPOLIS  
2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DOUGLAS ANCELMO FREITAS**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS  
UNIFAMILIARES NO MUNICÍPIO DE IMBITUBA - SC**

Trabalho de conclusão de curso submetido  
à Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a obtenção  
do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Enedir Ghisi, Ph.D.

**FLORIANÓPOLIS**

**2018**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Freitas, Douglas Ancelmo

Análise de viabilidade econômica de sistemas de  
aproveitamento de água pluvial em residências  
unifamiliares no município de Imbituba - SC / Douglas  
Ancelmo Freitas ; orientador, Enedir Ghisi, 2018.

79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Aproveitamento de água pluvial.  
3. Análise econômica. 4. Programa Netuno. 5. Imbituba. I.  
Ghisi, Enedir. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO  
DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS  
UNIFAMILIARES NO MUNICÍPIO DE IMBITUBA - SC

DOUGLAS ANCELMO FREITAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido e julgado adequado como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
engenheiro civil

Prof<sup>a</sup> Lia Caetano Bastos, Dr<sup>a</sup>.  
Coordenadora de TCC

Banca examinadora:



Prof. Enedir Ghisi, PhD  
Orientador

Prof<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives, Dr<sup>a</sup>.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Matheus Soares Geraldi, M.Eng.  
Doutorando do PPGEC/UFSC

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Enedir Ghisi pela disponibilidade de orientação, paciência, suporte, dedicação e aprendizado.

À prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Liseane Padilha Thives e ao Mestre Matheus Soares Geraldi, por aceitarem participar da minha banca.

Aos meus pais, Joaquim e Ana, pelo apoio que me proporcionaram durante toda minha caminhada até aqui para minha formação como Engenheiro Civil e principalmente como cidadão.

A toda minha família pelo apoio em diversos momentos.

À minha irmã Rosália por colaborar com este trabalho fornecendo as informações necessárias para a execução do trabalho sobre sua residência como objeto de estudo.

À minha namorada, Juciara, que me ajudou em diversos momentos de dificuldade durante a graduação, especialmente nas fases finais e na elaboração deste trabalho.

Aos Rats, grupo de amigos que conheci durante a graduação e que me ajudaram em vários momentos da faculdade, proporcionando amizades e experiências que não imaginaria ter.

À família Underneath que proporcionou momentos de descanso nas fases mais estressantes do curso.

A todos os professores, funcionários e colegas que fizeram parte da minha formação como engenheiro civil.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares no município de Imbituba - SC. Para a realização deste estudo foi selecionada uma residência unifamiliar com quatro moradores onde foram coletados os dados de consumo de água potável e a demanda de água pluvial (por meio de um questionário). Para ampliação do estudo, foram avaliados 108 cenários diferentes com base nas informações da residência estudada. Nestes diferentes cenários as áreas de captação, o número de moradores e as demandas de água potável e pluvial sofreram variações. Com isso foi possível verificar a influência dessas variáveis na viabilidade dos sistemas de aproveitamento de água pluvial no município. Para a residência de estudo, com quatro moradores, área de captação de 130 m<sup>2</sup>, demanda *per capita* de água potável de 125,2 litros por dia, e demanda de água pluvial de 42,1% da demanda total de água potável, a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial foi economicamente viável. O período de retorno do investimento foi de 178 meses (14,8 anos) e a taxa interna de retorno, 0,73% ao mês. Nos diferentes cenários testados, a instalação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial foi economicamente viável em aproximadamente 57,4% dos casos. Os períodos de retorno variaram entre 111 e 237 meses e as taxas internas de retorno chegaram a 1,19% ao mês. Os cenários com maior viabilidade econômica são os que consideram o maior número de moradores, áreas de captação e demanda diária de água potável. O número de casos economicamente viáveis e os índices econômicos poderiam ser melhores se houvesse a cobrança de tarifas de esgoto em Imbituba, pois a economia mensal proporcionada pela utilização dos sistemas seria maior. Em suma, o estudo comprovou que a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares de Imbituba pode ser economicamente viável.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de água pluvial. Programa Netuno. Residências unifamiliares. Imbituba. Análise econômica.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma do método utilizado. ....	28
<b>Figura 2:</b> Localização do município de Imbituba - SC. ....	29
<b>Figura 3:</b> Localização da residência no bairro Paes Leme. ....	30
<b>Figura 4:</b> Fachada frontal da residência. ....	30
<b>Figura 5:</b> Salão de festas no fundo da residência. ....	31
<b>Figura 6:</b> Precipitação média anual no município de Imbituba de 1977 a 2016. ....	42
<b>Figura 7:</b> Precipitação média mensal com máximos e mínimos no município de Imbituba de 1976 a 2017. ....	43
<b>Figura 8:</b> Consumo mensal de água e valor das faturas da concessionária. ....	44
<b>Figura 9:</b> Consumo médio diário de água potável da residência, no período de aplicação do questionário. ....	45
<b>Figura 10:</b> Potencial de economia de água potável para cada volume do reservatório inferior testado pelo Netuno. ....	48
<b>Figura 11:</b> Consumo diário de água pluvial calculado pelo Netuno. ....	49
<b>Figura 12:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando três moradores e demanda diária de água potável de 100,2 litros/pessoa.dia. ....	50
<b>Figura 13:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando quatro moradores e demanda diária de água potável de 100,2 litros/pessoa.dia. ....	51
<b>Figura 14:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando cinco moradores e demanda diária de água potável de 100,2 litros/pessoa.dia. ....	52
<b>Figura 15:</b> Frequência dos volumes de reservatório inferior na análise para diferentes cenários. ....	57
<b>Figura 16:</b> Valor presente líquido (VPL) para as diferentes demandas de água potável. ....	64
<b>Figura 17:</b> Valor presente líquido (VPL) para as diferentes áreas de captação. ....	65
<b>Figura 18:</b> Valor presente líquido (VPL) para os diferentes números de moradores. ....	65
<b>Figura 19:</b> Valor presente líquido (VPL) para as diferentes demandas de água pluvial. ....	66

<b>Figura B.1:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando três moradores e demanda diária de água potável de 125,2 litros/pessoa.dia. ....	74
<b>Figura B.2:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando quatro moradores e demanda diária de água potável de 125,2 litros/pessoa.dia. ....	75
<b>Figura B.3:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando cinco moradores e demanda diária de água potável de 125,2 litros/pessoa.dia. ....	76
<b>Figura B.4:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando três moradores e demanda diária de água potável de 150,2 litros/pessoa.dia. ....	77
<b>Figura B.5:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando quatro moradores e demanda diária de água potável de 150,2 litros/pessoa.dia. ....	78
<b>Figura B.6:</b> Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando cinco moradores e demanda diária de água potável de 150,2 litros/pessoa.dia. ....	79



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Valores de coeficiente de runoff. ....	33
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros testados na análise para diferentes cenários. ....	41
<b>Tabela 3:</b> Vazões médias medidas na residência analisada. ....	46
<b>Tabela 4:</b> Consumo per capita diário. ....	46
<b>Tabela 5:</b> Dados de entrada para realizar a análise específica no programa Netuno. ....	47
<b>Tabela 6:</b> Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 100,2 litros/pessoa.dia. ....	53
<b>Tabela 7:</b> Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 125,2 litros/pessoa.dia. ....	54
<b>Tabela 8:</b> Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 150,2 litros/pessoa.dia. ....	56
<b>Tabela 9:</b> Custo dos reservatórios em lojas de Imbituba. ....	58
<b>Tabela 10:</b> Tarifas de água por faixas de consumo - Imbituba. ....	59
<b>Tabela 11:</b> Custos iniciais de implantação do sistema de aproveitamento pluvial na residência de estudo. ....	59
<b>Tabela 12:</b> Análise econômica para os diferentes cenários com demanda de 100,2 litros/pessoa.dia de água potável. ....	61
<b>Tabela 13:</b> Análise econômica para os diferentes cenários com demanda de 125,2 litros/pessoa.dia de água potável. ....	62
<b>Tabela 14:</b> Análise econômica para os diferentes cenários com demanda de 150,2 litros/pessoa.dia de água potável. ....	63

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.

CSV - Valores Separados por Vírgula

CV - Cavalo-vapor

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NBR - Norma Brasileira

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

VPL - Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>13</b>
1.1. Justificativa .....	13
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo geral .....	15
1.2.2. Objetivos específicos .....	15
1.3. Estrutura do trabalho .....	15
<b>2. Revisão bibliográfica .....</b>	<b>17</b>
2.1. Aproveitamento de água pluvial.....	17
2.2. Dimensionamento de reservatórios .....	21
2.3. Programa netuno .....	24
2.4. Considerações finais .....	25
<b>3. Método .....</b>	<b>27</b>
3.1. Área de estudo .....	28
3.2. Objeto de estudo .....	29
3.3. Levantamento de dados .....	31
3.3.1. Consumo de água potável .....	31
3.3.2. Demanda de água pluvial .....	31
3.3.3. Dados pluviométricos .....	32
3.3.4. Área de captação .....	32
3.3.5. Coeficientes de escoamento superficial da cobertura .....	33
3.4. Potencial de economia de água.....	33
3.5. Análise econômica.....	37
3.6. Análise dos diferentes cenários .....	40
<b>4. Resultados .....</b>	<b>42</b>
4.1. Levantamento de dados .....	42
4.1.1. Dados pluviométricos .....	42

4.1.2. Consumo de água potável na residência .....	43
4.1.3. Demanda de água pluvial .....	47
4.2. Potencial de economia de água potável .....	47
4.2.1. Análise específica .....	47
4.2.2. Análise para diferentes cenários .....	49
4.3. Análise econômica.....	57
4.3.1. Análise específica .....	59
4.3.2. Análise para diferentes cenários .....	60
<b>5. Conclusão .....</b>	<b>67</b>
5.1. Limitações .....	68
5.2. Recomendações para trabalhos futuros .....	68
<b>Referências .....</b>	<b>69</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>73</b>

## **1. Introdução**

### **1.1. Justificativa**

A água potável é um dos recursos primordiais para a manutenção de uma boa qualidade de vida. O seu uso normalmente é destinado a diferentes funções, algumas mais nobres como consumo humano direto e outras menos nobres, como a utilização em vasos sanitários. Com o frequente aumento populacional que vem ocorrendo nos últimos anos, cada vez se tornam maiores a demanda e o custo de obtenção de água potável, principalmente em grandes centros urbanos.

Muitas regiões sofrem com a falta de água potável, pois apesar da abundância desse recurso no planeta, a sua distribuição não ocorre de forma uniforme. Cerca 30% das pessoas no planeta (2,1 bilhões de pessoas) não têm acesso à água potável em casa e muitas precisam percorrer grandes distâncias para coletá-la (NAÇÕES UNIDAS, 2017).

Devido a sua distribuição irregular, a água potável deveria ser destinada a usos mais nobres, podendo ser substituída por alternativas mais baratas em usos menos nobres. Algumas das alternativas existentes para a substituição da água potável são os sistemas de aproveitamento de água pluvial e os sistemas de reúso de água cinza. A utilização desses sistemas foi abordada por Li, Boyle e Reynolds (2010) para uso doméstico na Irlanda e por Ghisi e Oliveira (2007), em um estudo de viabilidade para duas residências em Palhoça. O uso dos sistemas de aproveitamento de água pluvial na Irlanda se mostrou viável, ao contrário do sistema de reúso de água cinza, devido ao longo período de retorno do mesmo. Ambos os sistemas não eram economicamente viáveis nas duas residências localizadas na Palhoça.

O aproveitamento de água pluvial sempre foi um assunto abordado por diferentes pesquisadores, como Helmreich e Horn (2009), que mostraram que a utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial pode ser uma das soluções para a escassez de água. Contudo, é necessário tomar cuidado com a qualidade da água coletada, sendo necessário utilizar mecanismos que descartem parte da chuva inicial e filtrem ou tratem a água armazenada que pode possuir bactérias ou outras substâncias nocivas (SAZAKI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007).

Normalmente nas discussões envolvendo o aproveitamento de água pluvial é comum pensar que sua aplicação é direcionada a países em desenvolvimento, ou a regiões com clima seco e com dificuldade de acesso à água potável. Apesar dessa tendência de pensamento, esses sistemas também são utilizados e explorados em regiões úmidas e desenvolvidas. Um exemplo é o sudeste dos Estados Unidos, onde Jones e Hunt (2010) avaliaram o uso desse sistema em três cidades da Carolina do Norte. Uma particularidade desse estudo foi tentar utilizar barris de 208 litros como reservatórios. Essa ideia surgiu pela disponibilidade desses barris na região, pois são muito utilizados por indústrias no transporte de produtos.

O benefício financeiro obtido pela utilização de água pluvial ao longo da vida útil das construções está sendo retratado em diferentes tipos de projetos. Dalsenter (2016) estimou o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis. O tempo de retorno variou de doze a treze meses para os diferentes blocos do condomínio, tendo cada um suas particularidades.

A coleta de água pluvial para utilização em residências normalmente é feita através do telhado das mesmas, mas existem outras opções de áreas de coleta, como as calçadas, jardins e ruas. Nolde (2007) analisou a utilização de águas pluviais coletadas através de estradas em regiões densamente povoadas da Alemanha. Devido a maior poluição presente nessas águas, a coleta exige mais cuidados, mas com os tratamentos necessários essa alternativa pode ser viável e interessante em áreas metropolitanas.

As vantagens no uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial não ficam restritas à economia para o usuário final. O benefício financeiro também atinge os municípios, que precisam tratar um volume menor de água. Na esfera ambiental os rios, lagos e lençóis freáticos também são beneficiados pela menor extração de volume de água. Com todas as vantagens que esses sistemas podem apresentar é necessário explorar todas as suas possibilidades, estudando seu desempenho e verificando sua viabilidade em diferentes situações.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares no município de Imbituba – SC.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estimar a economia de água potável para residências unifamiliares no município de Imbituba, variando o número de residentes, as áreas de captação, o consumo médio diário e a demanda de água pluvial;
- Levantar os custos de construção e manutenção de sistemas de aproveitamento de água pluvial no município de Imbituba;
- Realizar análise de investimentos para os diferentes casos;
- Verificar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial a partir de um estudo de caso em uma residência unifamiliar.

## **1.3. Estrutura do trabalho**

No primeiro capítulo são apresentados a introdução, justificativa, os objetivos geral e específicos e, a estrutura do trabalho do estudo de viabilidade econômica na utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica com informações baseadas em artigos e trabalhos científicos que abrangem o aproveitamento de água pluvial, dimensionamento de reservatórios e o programa computacional Netuno.

No terceiro capítulo é apresentado o método utilizado para avaliar o potencial de economia de água potável e para dimensionar os volumes dos reservatórios. Também são apresentadas a descrição do levantamento de dados, a organização

das informações e a execução das análises de viabilidade econômica no programa Netuno.

No quarto capítulo são apresentados os resultados das análises realizadas durante esse trabalho, os potenciais de economia de água potável e evidenciados os casos em que a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial é economicamente viável.

No quinto capítulo são apresentados a conclusão do trabalho com as limitações e os problemas encontrados durante a execução do mesmo, gerando sugestões para trabalhos futuros.



## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. Aproveitamento de água pluvial

A utilização de água pluvial em residências é um assunto que ganha visibilidade em diferentes pesquisas acadêmicas. Os objetivos normalmente visam encontrar a demanda de água pluvial, e analisar a viabilidade desses sistemas em diferentes situações, utilizando-se de determinadas variáveis e parâmetros de mercado.

No Brasil um estudo realizado por Ghisi (2006) mostrou que o potencial de economia de água potável que pode ser substituída por água pluvial em residências variou de 48% a 100%. O país possui precipitações médias anuais de cerca de 1.443 mm, mas tem uma grande variação de precipitações de acordo com cada região. Na região norte esse índice atingiu 100% e na região sudeste, a mais populosa e uma das que possuem menor quantidade de água disponível por habitante, o índice atingiu 48%. Esse último valor é bastante expressivo devido a crescente demanda de água nessa região.

Um estudo feito por Ghisi, Montibeller e Schimidt (2006) com o objetivo de avaliar o potencial de economia de água potável por meio da utilização de água pluvial em Santa Catarina, encontrou médias de aproveitamento que variaram de 34% a 92% entre os diferentes municípios. O estudo selecionou 62 cidades do estado que possuíam dados suficientes para a pesquisa, abrangendo assim cerca de 33% do território superficial e 41% da população total do estado. A média geral encontrada foi de aproximadamente 69%, representando assim um valor que pode significar uma oferta maior de água *per capita* por ano para os habitantes do estado no futuro.

A escolha por sistemas de aproveitamento de água pluvial pode ser feita para obras de maior escala, que envolvem áreas de captação e tanques de armazenamento de grandes dimensões. Para um condomínio residencial localizado em Ringsdansen, Suécia, que estava sendo renovado, Villarreal e Dixon (2005) analisaram a possibilidade de uso de água pluvial nas descargas, em máquinas de lavar, na irrigação do jardim e na lavagem de carros. O condomínio, formado por dois blocos com vários prédios entre dois e oito pavimentos, passaria a ter cerca de 1.100 apartamentos após a reforma, com uma área de captação de

aproximadamente 27.600 m<sup>2</sup> em cada bloco. Além da redução do consumo de água municipal, a questão educativa à comunidade foi outro benefício considerado que encorajaria o sentimento de responsabilidade no uso da água e de outros recursos naturais. O estudo concluiu que com a adoção do sistema de aproveitamento de água pluvial junto com outras soluções, como a utilização de sistemas de descarga que consomem menor volume de água, o condomínio poderia atingir alto nível de eficiência na economia de água.

Na Austrália, Zhang et al. (2009) avaliaram o potencial de uso de água pluvial em edifícios altos com dez pavimentos e 600 m<sup>2</sup> de área de cobertura. A Austrália possui a maior parte da população morando nas cidades litorâneas e tem uma densidade muito baixa no centro do país. Para a análise de viabilidade foram selecionadas quatro cidades que possuem características de precipitação distintas, cada uma localizada em uma costa diferente do país. Considerando uma demanda usual de água baseada nos padrões australianos, os menores períodos de retorno foram obtidos para a cidade de Sydney (cerca de 8,6 anos) e os maiores períodos de retorno (13,7 anos) foram obtidos para a cidade de Perth. Apesar de não ser a cidade com o maior volume de precipitações ao longo do ano, com médias de 1.200 mm, Sydney possui precipitações mais constantes, ou seja, mais dias de chuva. A cidade com maior volume de precipitações anuais, Darwin com 1.600 mm, obteve um período de retorno de 11,6 anos.

A redução do uso de água potável pode ser feita também pela utilização de mais de uma solução ao mesmo tempo, como o uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial e sistemas de reúso de água cinza em um mesmo local. No município de Palhoça, onde ocorrem precipitações médias anuais de 1.706 mm, Ghisi e Oliveira (2007) estudaram o uso desses sistemas em duas residências e avaliaram a adoção de cada sistema separadamente e também a instalação de ambos simultaneamente. O consumo médio mensal de água potável das residências era de 14,7 m<sup>3</sup> e 9,0 m<sup>3</sup>. O sistema de água pluvial analisado abasteceria os vasos sanitários e a máquina de lavar, e a água cinza seria usada exclusivamente nos vasos sanitários. Após o levantamento de dados, as análises dos resultados mostraram que para essas duas residências os sistemas não eram viáveis financeiramente devido ao alto período de retorno. Os períodos de retorno para a casa com maior consumo foram de 25 anos para o sistema de água pluvial, 19 anos para o sistema de água cinza e 37 anos para a utilização de ambos. Para a

casa com menor consumo os sistemas não eram economicamente viáveis, pois a concessionária da região cobra uma taxa mínima mensal de consumo de 10 m<sup>3</sup> de água potável.

A Irlanda possui uma quantidade razoável de fontes de água disponíveis devido às abundantes chuvas que existem no país, as precipitações médias anuais variam entre 750 mm e 1.250 mm, mas ultrapassam 2.000 mm nas regiões montanhosas. Apesar da abundância atual, existe uma preocupação com a demanda futura de água potável. Li, Boyle e Reynolds (2010) avaliaram a utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial e de reúso de água cinza para fins domésticos. A demanda média de água potável na Irlanda é de 148 litros por pessoa por dia, mas apenas 6% desse volume é utilizado para consumo próprio e para cozinhar; o volume utilizado para descargas, máquinas de lavar, jardim e lavagem de carros chega a 49%. Os custos de instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial para residências unifamiliares na Irlanda em 2009 variaram entre €1.500,00 e €4.000,00, tendo período de retorno entre 7 e 20 anos. Os sistemas de reúso de água cinza para residências unifamiliares tinham custo mais elevado, entre €2.700,00 e €3.400,00, com períodos de retorno entre 20 e 35 anos. Os sistemas de água pluvial se mostraram economicamente mais viáveis, e a adoção dos mesmos permitiria redução entre 30% e 90% no consumo de água do sistema público.

Outro estudo envolvendo a combinação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e de reúso de água cinza foi realizado na cidade Florianópolis, que possui precipitações médias anuais de 1.544 mm. Ghisi e Ferreira (2007) escolheram um edifício residencial multifamiliar com três blocos de quatro pavimentos para avaliar o desempenho desses sistemas. As hipóteses do estudo consideraram ambos os sistemas funcionando em conjunto e também separadamente. As demandas médias de água nos três blocos variaram de 10 a 12 m<sup>3</sup> por apartamento. Para a determinação dos usos finais da água foram feitas entrevistas com os moradores. Os sistemas de reúso de água cinza obtiveram os melhores desempenhos, com potencial de economia de água entre 28,7% e 34,8%. Os sistemas de aproveitamento de água pluvial apresentaram potencial de economia entre 14,7% e 17,7%. Quando utilizados juntos, os dois sistemas apresentaram potencial de economia entre 36,7% e 42,0%. Para o bloco que possuía consumo médio de 10 m<sup>3</sup> de água por mês, os sistemas não eram

economicamente viáveis, pois a taxa mínima mensal de consumo da concessionária também é de 10 m<sup>3</sup>. Para os outros dois blocos ambos os sistemas se mostraram economicamente viáveis quando utilizados separadamente e também juntos.

Na Europa, Palla et al. (2012) avaliaram o desempenho de sistemas de aproveitamento de água pluvial em 46 diferentes cidades, divididos nas cinco principais zonas climáticas europeias. O estudo também buscou caracterizar os regimes de precipitações e avaliar a influência das características das chuvas no desempenho desses sistemas. As regiões frias e úmidas, localizadas na parte setentrional do continente, apresentaram os melhores desempenhos devido ao fato de possuírem precipitações mais constantes ao longo do ano. Os piores resultados foram obtidos nas regiões mediterrâneas e quentes, situadas no sul da Europa, devido às precipitações inconstantes ao longo do ano. Quanto à influência das características das chuvas, foi observado que apenas a precipitação média anual apresentou forte correlação com o desempenho dos sistemas de aproveitamento de água pluvial.

A eficiência dos sistemas de aproveitamento de água pluvial em diferentes climas também foi avaliada por Mehrabadi, Saghafian e Fashi (2013) no Iran. Os pesquisadores selecionaram três cidades, Tabriz, Rasht e Kerman, caracterizadas por possuírem clima mediterrâneo, úmido e árido respectivamente, utilizando dados pluviométricos de um período de 57 anos. Para o estudo foram consideradas áreas de captação com 60, 120, 180 e 240 m<sup>2</sup>, média de quatro moradores por residência, e consumo de água entre 60 e 180 litros por pessoa por dia. Para demandas diárias de 240 litros de água em uma edificação, Rasht apresentou o melhor potencial de economia, e Kerman apresentou o pior desempenho. Na cidade de Rasht, com precipitações médias anuais de 1355 mm, o potencial de economia de água ficou entre 38,7% e 98,6%. Em Tabriz, com precipitações médias anuais de 288 mm, o potencial de economia ficou entre 11,5% e 58,3%. Por último, na cidade de Kerman com precipitações médias anuais de 150 mm, o potencial ficou entre 6,9% e 31,6%.

Um dos problemas que impede uma maior adoção dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é a falta de conhecimento de parte da população sobre os mesmos. Nos Estados Unidos, Jones e Hunt (2010) observaram que muitas pessoas não sabem das vantagens financeiras e ecológicas desses sistemas, e também tem desconfiança da qualidade dessa água. Muitos usuários ainda preferem utilizar o sistema municipal de água para usos não nobres, como

lavagem de carros, mesmo quando sistemas alternativos estão disponíveis. Na cidade de Kingston, uma cisterna que acumulava água pluvial com a finalidade de lavar veículos foi monitorada por 15 meses, e durante todo esse período ela manteve uma capacidade mínima de 80% do seu volume. Os pesquisadores perceberam que os funcionários preferiam utilizar a água do sistema municipal para realizar a lavagem dos carros, e usavam a água da cisterna para outros pequenos usos. Após uma reeducação dos mesmos, o consumo de água pluvial aumentou, mas de forma não muito significativa. Uma das conclusões do estudo é que não basta realizar um dimensionamento correto dos sistemas, pois outros problemas como a percepção dos usuários finais também podem ter um grande impacto na viabilidade dos sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Marinoski, Rupp e Ghisi (2018) analisaram os benefícios ambientais gerados pelo aproveitamento de água pluvial, reúso de água cinza e uso de aparelhos eficientes em termos de água. Foram selecionadas vinte residências unifamiliares localizadas em regiões de baixa renda na cidade de Palhoça/SC, onde foi realizada a coleta de dados sobre os usos finais da água dos moradores. Enquadraram-se nessa classificação de baixa renda as residências construídas pelo programa federal Minha Casa Minha Vida com renda familiar mensal menor ou igual a três salários mínimos. Os aspectos ambientais abordados foram o potencial de economia de água potável, a redução do volume de esgoto produzido e a energia incorporada na produção dos equipamentos utilizados nos sistemas. O potencial de economia de água encontrado variou entre 21,0% e 42,9%. A redução do volume de esgoto produzido chegou a 36,8%. Os pesquisadores concluíram que a estratégia mais apropriada para a economia de água não é apenas obter o melhor potencial de economia, mas também causar menos impacto ambiental.

## **2.2. Dimensionamento de reservatórios**

O dimensionamento de reservatórios é uma das partes mais importantes na elaboração de sistemas de aproveitamento de água pluvial, pois para se atingir uma boa eficiência nesses sistemas o volume do reservatório não pode ser superdimensionado ou insuficiente. A demanda de água pluvial necessária poderia ser atendida sempre, mas os custos elevados de reservatórios maiores fazem com que isso não seja possível em todos os momentos. O método escolhido para o

dimensionamento dos reservatórios tem extrema importância na obtenção dos melhores resultados. Assim, é necessário considerar um equilíbrio entre a demanda e o tamanho do reservatório.

A influência de fatores no dimensionamento de reservatórios foi abordada por Ghisi (2010) em um estudo no estado de São Paulo nas cidades de Itaquaquecetuba, Espírito do Pinhal e Santos. Nessa pesquisa foram analisadas as correlações entre área de coleta, volume de precipitação, número de moradores, demanda de água potável e de água pluvial com o tamanho dos reservatórios. O autor da pesquisa concluiu que todos os fatores têm influência no dimensionamento dos reservatórios de água pluvial. Esse resultado demonstra a importância de um dimensionamento específico para cada caso, pois o uso de tanques de mesmo tamanho para diferentes casas pode não ter o mesmo desempenho se os fatores forem diferentes.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) não exige a utilização de um método específico para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial, mas apresenta alguns métodos que podem ser utilizados: de Rippl, da Simulação, Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês e Prático Australiano. A escolha deve ser feita pelo projetista com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, devendo ser justificada.

Um estudo feito por Bezerra et al. (2010) comparou os métodos sugeridos pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e os métodos sugeridos pelo Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba/PR. Para essa análise foram escolhidas cinco edificações com sistemas de aproveitamento de água pluvial já existentes, sendo três edificações residenciais multifamiliares, uma comercial e uma residencial unifamiliar. Os resultados mais próximos foram encontrados em um dos edifícios residenciais multifamiliares. Neste caso, o maior volume do reservatório calculado por meio do método Prático Inglês (volume de  $30 \text{ m}^3$ ) foi duas vezes maior que o encontrado pelo método do Decreto Municipal 293/2006 (volume de  $15 \text{ m}^3$ ). As maiores diferenças ocorreram no edifício comercial. Os volumes dos reservatórios calculados por meio do método de Rippl (volume de  $20 \text{ m}^3$ ) e pelo método do Decreto Municipal 293/2006 (volume de  $0,2 \text{ m}^3$ ) tiveram variação na ordem de cem vezes. Devido aos resultados discrepantes nos diferentes métodos, o estudo concluiu que não existe um método ideal. A recomendação aos projetistas é realizar a comparação dos resultados dos diferentes métodos antes da escolha final.

Rupp, Munarim e Ghisi (2011) compararam os métodos de dimensionamento recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) com o método utilizado pelo programa Netuno. Com a finalidade de ampliar a pesquisa foram escolhidas três cidades com precipitações diferentes: Palhoça/SC, Santana do Ipanema/AL e Santos/SP. O foco do estudo foi analisar o potencial de economia de água potável, a capacidade dos reservatórios e a aplicabilidade dos métodos. Foram adotadas diferentes demandas diárias de água potável, porcentagens de substituição de água potável por água pluvial, áreas de captação e demanda de água pluvial, totalizando 27 casos para cada cidade. Os resultados mostraram que em muitos casos os métodos sugeridos pela NBR 15527 (ABNT, 2007) não apresentaram bons desempenhos em comparação com o método utilizado pelo Netuno. Além dessa constatação, em alguns casos analisados não foi possível aplicar os métodos de Rippl, Simulação e Prático Australiano, pois a demanda de água pluvial foi maior que o volume mensal captado.

De maneira geral, os métodos de Rippl, Simulação e Azevedo Neto apresentaram volumes de reservatórios maiores que o considerado ideal, implicando maiores custos. O método Prático Australiano subdimensionou o tamanho dos reservatórios, assim como os métodos Prático Inglês e Prático Alemão, para baixas precipitações. O método utilizado pelo Netuno é o único que se ajusta em função do regime de precipitação e da demanda de água pluvial. Além disso, também apresenta o potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório.

O método adotado pelo programa Netuno foi validado por Rocha (2009) em um estudo de aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais brasileiras. A validação ocorreu de maneira empírica, através da coleta de dados na Casa Eficiente, uma edificação localizada em Florianópolis/SC. Após o tratamento inicial dos dados, o programa Netuno foi utilizado para obter os potenciais de economia de água potável dessa edificação. Posteriormente, os resultados das simulações foram comparados com as economias reais obtidas na edificação estudada. Nos meses em que ocorreram precipitações mais elevadas, onde o reservatório possuía água suficiente para atender totalmente a demanda de água pluvial, os potenciais de economia obtidos no programa Netuno foram iguais às economias reais aferidas na Casa Eficiente. Entretanto, quando a quantidade de água no reservatório não era suficiente para atender totalmente a demanda, os

resultados do programa Netuno foram diferentes das medidas reais. Ao utilizar as séries de precipitações com um intervalo de tempo maior, no programa Netuno, essas diferenças foram reduzidas. Dessa maneira, os resultados das comparações realizadas por Rocha (2009) mostraram que o procedimento adotado pelo programa Netuno se mostra adequado.

### 2.3. Programa netuno

O programa Netuno foi desenvolvido por Ghisi e Cordova (2014), no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, e pode ser obtido gratuitamente na sua quarta versão no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). O propósito do programa Netuno é realizar o dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial a partir de simulações.

Os dados de entrada necessários para as simulações são:

- Dados de precipitação diária (mm);
- Descarte de escoamento inicial (mm);
- Área de captação ( $m^2$ );
- Demanda total de água (litros *per capita*/dia);
- Número de moradores;
- Demanda de água pluvial (% da demanda total de água);
- Coeficiente de escoamento superficial.

Com os dados fornecidos é possível escolher as opções de simulação com ou sem reservatório superior, sendo que o seu volume pode ser predefinido ou simulado. Caso o volume seja simulado, escolhe-se um volume mínimo e um volume máximo onde o programa Netuno realizará testes com os volumes nesse intervalo.

Inicialmente, o programa Netuno calcula o volume de água que escoar pela superfície de captação. Em seguida, o volume de água disponível nos reservatórios é calculado com base nos volumes anteriores e no consumo diário. A partir dos resultados obtidos é possível determinar o potencial de economia de água potável com base no volume de água pluvial consumido e na demanda total de água.



O estudo de viabilidade econômica também pode ser realizado nesse programa, pois ele possui uma opção de considerar os custos totais de instalação e manutenção. Ghisi e Schondermark (2013) realizaram esse estudo em residências localizadas no estado de Santa Catarina, nas cidades de Chapecó, Criciúma, Florianópolis, Joinville e Lages, utilizando a versão 2.1 do programa Netuno. Foram analisados casos com diferentes áreas de captação, demanda de água potável, número de moradores e demanda de água pluvial. Os autores concluíram que os sistemas eram economicamente viáveis na maioria dos casos, com períodos de retorno entre 1,5 e 10 anos. Nos casos em que o sistema não era economicamente viável o principal fator foi a existência da taxa mínima mensal de consumo, pelas concessionárias, que era maior que a demanda mensal de água.

O programa Netuno também foi utilizado por Berwanger e Ghisi (2014) para realizar um estudo de viabilidade econômica de implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial na cidade de Itapiranga/SC. Com base nas variáveis de entrada do programa, foram avaliados 144 casos diferentes sendo que em 45 casos a implantação desses sistemas se mostrou economicamente viável, com período de retorno do investimento menor do que 20 anos. Embora poucos casos tenham se mostrado economicamente viáveis, os autores ressaltaram a importância da adoção desses sistemas. O benefício para a sociedade abrange a economia de recursos naturais no aspecto ambiental e a redução do volume de água que precisa ser tratado pelas concessionárias.

## **2.4. Considerações finais**

Embora em muitos lugares não ocorra a escassez de água, os sistemas de aproveitamento de água pluvial se mostram interessantes por diversas razões. O benefício financeiro para o consumidor final pode ser bastante atrativo, dependendo do período de retorno. Para os municípios e concessionárias, de forma geral, a necessidade de tratar um volume de água menor também gera menos custos. Ambientalmente, o menor consumo de água potável auxilia na preservação de rios, lagos e lençóis freáticos, pois significa uma menor extração de seus volumes. O uso desses sistemas também causa um efeito maior de conscientização ambiental nos usuários.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial apresentam potencialidades que, muitas vezes, não são divulgadas e, deveriam ter mais incentivos por parte dos governos. Contudo, não basta adotar sistemas padrões para diversos lugares, pois é necessário sempre realizar um estudo de dimensionamento específico desses sistemas para cada edificação. Cada edificação tem características específicas que demandam reservatórios de diferentes volumes, afetando a viabilidade econômica dos mesmos.

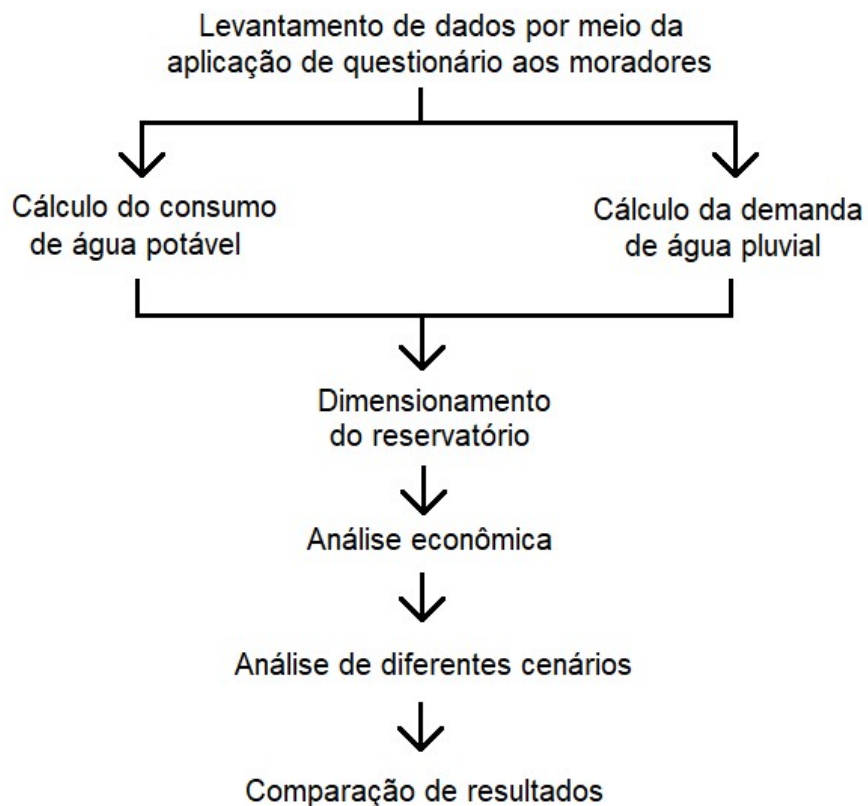
A metodologia de dimensionamento de reservatórios adotada possui grande influência no desempenho dos sistemas. Algumas metodologias têm limitações importantes e geram resultados adversos que comprometem a viabilidade econômica do projeto. Dessa maneira, a utilização da metodologia do programa Netuno se mostra a mais interessante, pois ela foi validada e apresenta resultados consistentes.

### 3. Método

Neste capítulo será descrito o método utilizado para a realização deste trabalho. Primeiramente, serão apresentados a área e o objeto de estudo e o levantamento de dados necessários para a realização das análises no programa Netuno. O levantamento de dados proporcionou considerações específicas envolvendo o objeto de estudo sobre o consumo de água potável, a demanda de água pluvial, os dados pluviométricos, a área de captação e os coeficientes de escoamento superficial da cobertura. Em suma, o terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento da análise de potencial de economia de água potável através do uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial e a análise financeira – a partir da economia de água potável calculada e do levantamento de custos de instalação e manutenção do sistema – para obter o período de retorno dos investimentos. Esses aspectos serão apresentados de forma mais detalhada nas próximas seções.

A análise de viabilidade econômica de implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial proposta neste trabalho é dividida em análise específica e análise para diferentes cenários, ambas no município de Imbituba – SC. Na primeira, uma residência com número de moradores e área de captação conhecidas, foi escolhida para obter dados reais sobre o consumo de água potável e a demanda de água pluvial, encontrado através do percentual de água potável que pode ser substituída por água pluvial. E na segunda, foram adotados cenários com número de moradores, área de captação, consumo de água potável e demanda de água pluvial próximos aos obtidos na análise específica, ou seja, com variações de valores maiores ou menores dos dados obtidos na residência pesquisada. A finalidade dessa segunda análise é observar as interferências de mudança nas variáveis iniciais na viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial. Pode-se assim, verificar quais são os casos em que a instalação desses sistemas é economicamente viável. A Figura 1 apresenta o fluxograma com o resumo do método utilizado no trabalho.

**Figura 1:** Fluxograma do método utilizado.



### 3.1. Área de estudo

A área de estudo escolhida para esse trabalho é o município de Imbituba, localizado no litoral sul de Santa Catarina, conforme Figura 2. O município de Imbituba tem área de 182,929 km<sup>2</sup> e população estimada de 44.076 pessoas segundo o IBGE (2018).

**Figura 2:** Localização do município de Imbituba - SC.



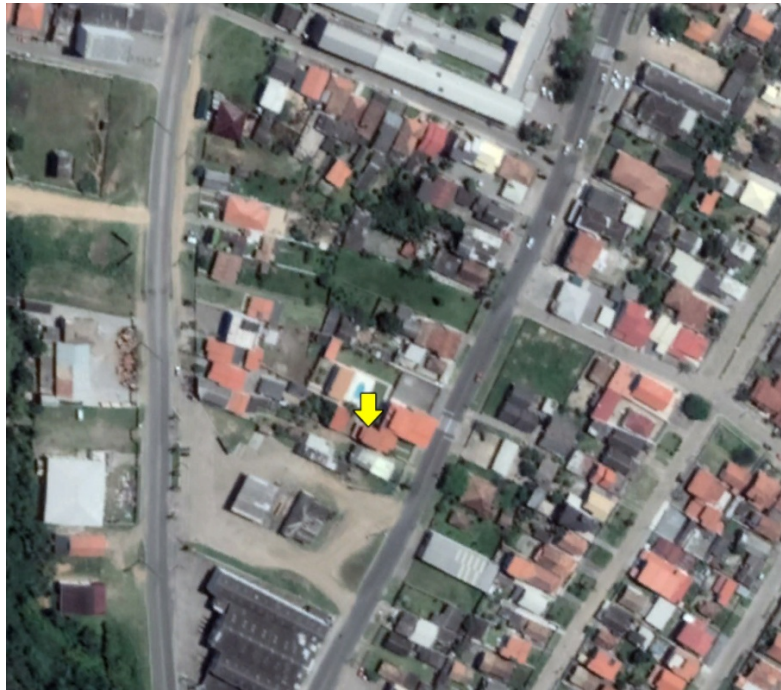
**Fonte:** Wikipédia. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Imbituba>>.

Acesso em: 04.fev.2018.

### 3.2. Objeto de estudo

Foi escolhida uma residência unifamiliar localizada na Avenida Brasil, bairro Paes Leme, cuja localização e fachada são mostradas nas Figuras 2 e 3. Os pontos de água disponíveis na casa são: chuveiro, vaso sanitário com válvula de descarga, lavatório, pia da cozinha, tanque, máquina de lavar roupas e torneira para rega de jardim e limpeza. A casa possui uma área construída total de aproximadamente 240 m<sup>2</sup>, sendo que 54 m<sup>2</sup> são de um salão de festas localizado no fundo do terreno (Figura 5).

**Figura 3:** Localização da residência no bairro Paes Leme.



**Fonte:** Imagem do Google Earth Pro gerada pelo autor.

**Figura 4:** Fachada frontal da residência, 2018.



**Figura 5:** Salão de festas no fundo da residência, 2018.



### **3.3. Levantamento de dados**

O levantamento de dados é uma das partes essenciais da pesquisa, pois é necessário conhecer os consumos diários de água pelos usuários em cada aparelho sanitário.

#### **3.3.1. Consumo de água potável**

Para obtenção dos usos finais de água na residência escolhida foi elaborado um questionário, disponível no Apêndice A, que foi entregue aos quatro moradores. Nesse questionário os usuários anotaram todos os usos de água potável realizados diariamente no período de 14/02/2018 a 27/02/2018, durante o verão. O período de duas semanas de aplicação foi escolhido para obter uma média mais confiável de consumo. Além disso, foram anotados os valores mensurados diariamente pelo hidrômetro, com a finalidade de comparar e verificar se o consumo de água potável calculado por meio dos usos reportados no questionário está correto.

#### **3.3.2. Demanda de água pluvial**

A demanda de água pluvial, representada pelo percentual da demanda diária total de água potável que pode ser substituído por água pluvial, é calculada a partir do volume gasto com descargas, máquina de lavar roupa e torneira para regra de

jardim em relação ao volume gasto com todos os usos de água na residência. Desse modo, na análise específica, consideraram-se os dados obtidos pela aplicação do questionário e a verificação das leituras do hidrômetro para a realização deste cálculo nas análises que serão apresentadas posteriormente.

### **3.3.3. Dados pluviométricos**

Os dados pluviométricos do município de Imbituba foram obtidos no banco de dados do site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018). Os dados fornecidos pelo site estão em planilhas com formatos de linhas e colunas, onde as linhas da planilha mostram os meses e anos, e cada coluna apresenta as precipitações diárias. Apesar de ser intuitivo para os usuários, esse formato de dados não é aceito pelo programa Netuno, pois o mesmo utiliza planilhas em formato CSV (Valores separados por vírgulas) com um padrão de dados em forma de vetor-coluna, ou seja, um valor de precipitação por linha (GHISI; CORDOVA 2014). Desta maneira, as planilhas com dados de precipitações precisaram ser formatadas.

Embora o site da ANA forneça os dados pluviométricos diários a partir do ano de 1976 para o município, em alguns meses os dados pluviométricos não foram registrados nos anos de 1991, 1992, 1994, 2009 e 2016. Nesses casos foram adotadas precipitações com valor igual a zero com o objetivo de utilizar uma série histórica maior. Essa solução está a favor da segurança na avaliação de viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial, pois as médias de precipitações serão menores.

Nas análises realizadas neste trabalho foi considerado um descarte de precipitação inicial de dois milímetros, conforme recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007). Esse descarte inicial é necessário devido ao fato de que as sujeiras acumuladas nas coberturas e calhas do sistema são transportadas e descartadas pelos primeiros volumes de água de cada precipitação.

### **3.3.4. Área de captação**

A água pluvial pode ser captada por diferentes locais como: ruas, calçadas, jardins e coberturas. A captação considerada neste trabalho é obtida apenas através do escoamento da água pluvial pelos telhados das residências. Assim, o



volume de água pluvial coletado é conduzido para os reservatórios inferiores através de calhas. A área de captação utilizada para realizar as análises propostas é definida pela projeção das áreas de telhados em um plano horizontal. Na residência escolhida para realizar a análise específica essa área é de aproximadamente 130 m<sup>2</sup>.

### 3.3.5. Coeficientes de escoamento superficial da cobertura

Nos sistemas de aproveitamento de água pluvial ocorrem perdas na coleta de água. Estas perdas acontecem por meio da evaporação, absorção dos materiais e limpeza do sistema, deste modo, é necessário utilizar um coeficiente de escoamento superficial para calcular o volume total de água pluvial captado pelas coberturas. Esse coeficiente, conhecido como coeficiente de *runoff*, é adimensional e está compreendido em um intervalo que varia de zero a um.

Existem autores que fornecem tabelas com valores de coeficientes de *runoff* para cada tipo de material como, por exemplo, a Tabela 1 que foi utilizada nesse estudo, fornecida por Tomaz (2010). A residência escolhida para realizar as análises tem cobertura composta por telhas cerâmicas. Desta maneira, o valor do coeficiente escolhido foi de 0,8. Adotou-se o menor valor no intervalo da tabela em favor da segurança.

**Tabela 1:** Valores de coeficiente de *runoff*.

Material	Coeficiente de <i>runoff</i>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

**Fonte:** Tomaz (2010).

### 3.4. Potencial de economia de água

O potencial de economia de água potável através da utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial está diretamente relacionado com o tamanho dos

reservatórios. Uma pesquisa realizada por Ghisi (2010) mostrou a importância de realizar o dimensionamento correto dos reservatórios para cada caso específico.

Neste trabalho, foi utilizado o programa Netuno para dimensionar os reservatórios inferiores e superiores. Para o dimensionamento do reservatório superior foi utilizada a Equação 1, que considera os fatores específicos de cada caso no dimensionamento do reservatório superior.

$$V_{res\ sup} = d \cdot n_{mor} \cdot \frac{P_{subst}}{100} \quad (1)$$

Onde:

$V_{res\ sup}$  é o volume do reservatório superior (litros);

$d$  é o consumo diário total de água potável (litros/dia);

$n_{mor}$  é o número de moradores;

$P_{subst}$  é a demanda de água pluvial (% do consumo diário total de água).

O percentual adotado do volume superior abaixo do qual ocorre recalque é de 10%, ou seja, quando o volume do reservatório superior estiver abaixo de 10% de sua capacidade, a motobomba será acionada e ocorrerá recalque de água do reservatório inferior, se disponível, para o reservatório superior.

Para dimensionar o reservatório inferior por meio do programa Netuno é necessário que o usuário informe como dados de entrada um volume mínimo e um máximo (em litros) que podem ser utilizados. Um intervalo entre volumes, que também deve ser informado inicialmente pelo usuário, determinará a quantidade de volumes testados pelo programa Netuno para encontrar o volume ideal.

Para o cálculo de potencial de economia é necessário, primeiramente, saber o volume de água pluvial que escoar pelas áreas de captação do sistema, o volume de água pluvial disponível nos reservatórios, o volume consumido e a demanda total. Todas essas informações são explicadas no manual do programa Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014).

Para calcular o volume que escoar pelas áreas de captação são considerados três fatores, o volume de precipitação, a área de captação total e o coeficiente de escoamento superficial, conforme mostra a Equação 2.

$$V_{ac}^i = P_i . A . C \quad (2)$$

Onde:

$V_{ac}^i$  é o volume de água pluvial que escoa pelas áreas de captação no dia i (litros);

$P_i$  é o volume de precipitação pluviométrica no dia i (mm);

$A$  é a área de captação ( $m^2$ );

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

O volume de água pluvial nos reservatórios antes do consumo é obtido analisando os volumes disponíveis no dia anterior, o volume proveniente do escoamento superficial e a capacidade máxima dos reservatórios, conforme a Equação 3.

$$V_{tot\ in}^i = \min \left\{ V_{tot}^{i-1} + V_{ac}^i \right\} \quad (3)$$

Onde:

$V_{tot\ in}^i$  é o volume disponível nos reservatórios no início do dia (litros);

$V_{tot}$  é o volume total dos reservatórios superior e inferior (litros);

$V_{tot\ in}^{i-1}$  é o volume disponível nos reservatórios no dia anterior (litros);

$V_{ac}^i$  é o volume proveniente do escoamento da superfície de captação em um dia (litros).

O consumo diário de água pluvial é dado por meio da Equação 4.

$$V_c^i = \min \left\{ D_{pluv}^i, V_{tot\ in}^i \right\} \quad (4)$$

Onde:

$V_c^i$  é o volume de água pluvial consumido no dia i (litros);

$D_{pluv}^i$  é a demanda de água pluvial no dia i (litros);

$V_{tot\ in}^i$  é o volume disponível nos reservatórios no início do dia i (litros).

O volume disponível nos reservatórios de água pluvial após um dia de consumo é dado por meio da Equação 5.

$$V_{tot\ fim}^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{tot\ in}^i - V_c^i \\ V_{tot} - V_c^i \end{array} \right. \quad (5)$$

Onde:

$V_c^i$  é o volume de água pluvial consumido no dia i (litros);

$V_{tot}$  é o volume dos reservatórios (litros);

$V_{tot\ in}^i$  é o volume disponível nos reservatórios no início do dia i (litros);

$V_{tot\ fim}^i$  é o volume disponível nos reservatórios no final do dia i (litros).

O potencial de economia é calculado por meio da Equação 6.

$$E_{pot} = 100. \sum_{i=1}^N \frac{V_c^i}{D_{tot}^i} \quad (6)$$

Onde:

$E_{pot}$  é o potencial de economia de água potável através da utilização de água pluvial (%);

$V_c^i$  é o volume de água pluvial consumido no dia i (litros);

$D_{tot}^i$  é a demanda total de água pluvial no dia i (litros).

O volume ideal do reservatório inferior foi obtido por meio do programa Netuno após a análise dos potenciais de economia em cada caso. Diversos volumes podem ser testados, devido ao fato de inicialmente ser estabelecido um intervalo de tamanhos possíveis de reservatórios. Neste trabalho serão testados volumes de reservatórios entre 500 e 15.000 litros, com intervalos de 500 litros. Estes valores foram adotados com base na disponibilidade de reservatórios no mercado. O programa Netuno elabora um gráfico onde é possível observar a variação do potencial de economia com o aumento do tamanho do reservatório inferior. Quando a variação ( $\%/m^3$ ) ultrapassa o valor estipulado inicialmente, o tamanho ideal do reservatório inferior é escolhido. Para esse trabalho, a variação escolhida será de

1%/m<sup>3</sup>. Desse modo, quando um volume de reservatório maior for testado pelo programa e a variação do potencial de economia for inferior a 1%/m<sup>3</sup>, o menor volume testado anteriormente será adotado como volume ideal.

### **3.5. Análise econômica**

O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial no município de Imbituba. A análise econômica tem por objetivo estimar o período de retorno do investimento para avaliar a instalação do sistema. Para a realização dessa análise será utilizado o programa Netuno, em sua quarta versão, para calcular a economia no consumo de água potável ao longo do tempo em termos financeiros.

O programa Netuno elabora um fluxo de caixa com base em parâmetros de entrada que englobam todos os custos de instalação e manutenção do sistema. Esses custos foram pesquisados no município do estudo, considerando que para cada item foram obtidas até três cotações. Neste trabalho, foram selecionados apenas os menores valores encontrados. Como custos iniciais o programa considera: reservatório inferior e superior, motobomba, tubulações, mão de obra e acessórios.

Devido às variações nas instalações de cada residência, os custos iniciais com tubulações e acessórios foram considerados como sendo 15% do custo inicial do sistema, ou seja, dos reservatórios, motobomba e mão de obra. Esta aproximação foi utilizada em estudos semelhantes por Dalsenter (2016) e Ferreira (2005). O custo de mão de obra foi obtido com base nas tabelas mais recentes do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2018).

A motobomba foi selecionada com base na disponibilidade de produtos encontrados no município de Imbituba. A motobomba com menor potência encontrada nas lojas possui ½ CV de potência. Esta motobomba atende os requisitos de altura de sucção, altura de recalque e comprimento da tubulação para as residências consideradas no estudo. Para as análises foi considerada a existência de uma motobomba reserva, conforme a NBR 5626 (ABNT, 1998).

Nos custos de manutenção o programa permite considerar os custos de limpeza e desinfecção da água armazenada e a energia consumida pela

motobomba. O custo da energia consumida pela motobomba é calculado por meio da Equação 7.

$$C_{mb}^i = E_{mb}^i \cdot c_{en} \cdot \left(1 + \frac{j_{var}}{100}\right) + j_{fixo} \quad (7)$$

Onde:

$C_{mb}^i$  é o custo de energia elétrica no mês  $i$ , desconsiderando inflação (R\$);

$E_{mb}^i$  é a energia consumida pela(s) motobomba(s) no mês  $i$  (kWh);

$c_{en}$  é a tarifa de energia elétrica (R\$/kWh);

$j_{var}$  é o imposto variável, calculado sobre a energia consumida no mês (%);

$j_{fixo}$  é o imposto fixo (R\$).

A energia consumida pela motobomba é calculada por meio da Equação 8.

$$E_{mb}^i = \frac{P_{mb}}{\eta} \cdot t_{total}^i \quad (8)$$

Onde:

$E_{mb}^i$  é a energia consumida pela(s) motobomba(s) no mês  $i$  (kWh);

$P_{mb}$  é a potência nominal da motobomba (kW);

$\eta$  é o rendimento da motobomba (adimensional);

$t_{total}^i$  é o tempo em que a motobomba ficou ligada no mês  $i$  (horas).

O tempo total de operação da motobomba é obtido por meio da Equação 9.

$$t_{total}^i = t_{part}^i \cdot t_{rec}^i \quad (9)$$

Onde:

$t_{total}^i$  é o tempo total de operação da motobomba no mês  $i$  (horas);

$t_{part}^i$  é o tempo hipotético de partida total da motobomba no mês  $i$  (horas);

$t_{rec}^i$  é o tempo de recalque total da motobomba no mês  $i$  (horas).

O tempo de recalque da motobomba é obtido por meio da Equação 10.

$$t_{rec}^i = \frac{V_{rec}^i}{q} \quad (10)$$

Onde:

$t_{rec}^i$  é o tempo de recalque total da motobomba no mês i (horas);

$V_{rec}^i$  é o volume total recalcado pela motobomba no mês i (litros);

$q$  é a vazão nominal da motobomba (litros/horas).

O tempo hipotético de partida total da motobomba é o tempo de recalque necessário para que a motobomba consuma a mesma quantidade de energia utilizada em sua partida em horas. Este tempo hipotético é calculado por meio da Equação 11.

$$t_{part}^i = n_{recs/dia} \cdot n_{dias/mês}^i \cdot t_{part} \quad (11)$$

Onde:

$t_{part}^i$  é o tempo hipotético de partida total da motobomba no mês i (horas);

$n_{recs/dia}^i$  é o número de recalques diários;

$n_{dias/mês}^i$  é o número de dias no mês i.

O fluxo de caixa, elaborado pelo programa Netuno, é realizado durante um período (em anos) estipulado pelo usuário. O período escolhido para realizar a análise econômica será de vinte anos. Esse tempo foi adotado com base em outros trabalhos já citados, como Dalsenter (2016). O programa considera as tarifas de água e esgoto (R\$/m<sup>3</sup>), a inflação (% ao mês), o período de reajuste de tarifas de água e energia elétrica (meses) e a taxa mínima de atratividade (% ao mês), inseridos pelo usuário.

Os valores das tarifas de água, esgoto e energia elétrica foram obtidos com base nas faturas da residência escolhida no período de um ano. A inflação mensal utilizada será de 0,32%. Esse valor foi obtido através do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA, 2018) e representa a inflação mensal medida no mês de fevereiro de 2018. A taxa mínima de atratividade adotada será de 0,5% ao mês, valor próximo do retorno de um dos investimentos mais comuns no Brasil, a poupança.

O benefício financeiro da instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial, obtido por meio da economia mensal nas faturas de água, será calculado por meio do fluxo de caixa do programa Netuno. Este fluxo de caixa resultará em três índices: valor presente líquido (VPL), período de retorno e a taxa interna de retorno. O valor presente líquido representa todos os gastos e economias durante o período de análise em um único valor atual; se esse resultado for positivo indica que o sistema é economicamente viável. O período de retorno indicará em quanto tempo o investimento na instalação do sistema será pago. A taxa interna de retorno indicará o ganho financeiro para os moradores, em percentual, devido à instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial.

### **3.6. Análise dos diferentes cenários**

Para realizar a análise para diferentes cenários serão adotadas variações em alguns parâmetros de entrada do programa Netuno. Estas variações serão realizadas com base nos valores obtidos na residência de estudo. Serão adotadas variações na demanda de água potável, demanda de água pluvial, área de captação e número de moradores.

Nesta análise serão adotadas variações na demanda de água potável de  $\pm 20\%$  em relação ao obtido na residência, e de  $\pm 10\%$  em relação à demanda de água pluvial. Para o número de moradores serão utilizados cenários com 3, 4 e 5 moradores por residência.

Nas áreas de captação serão adotadas áreas de 70 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>, 130 m<sup>2</sup> e 160 m<sup>2</sup>. Estes valores foram escolhidos com base em um estudo elaborado por Ghisi, Gosch e Lamberts (2007). Os pesquisadores mostraram que aproximadamente 38% das residências unifamiliares brasileiras possuem área construída entre 51 e 75 m<sup>2</sup>, 26% possuem área entre 76 e 100 m<sup>2</sup>, 10% possuem área entre 101 e 150 m<sup>2</sup> e 3% possuem área entre 151 e 200 m<sup>2</sup>.

Utilizando-se áreas de 70 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>, 130 m<sup>2</sup> e 160 m<sup>2</sup>, que representam aproximadamente 77% das residências unifamiliares brasileiras, a análise para diferentes cenários considera as características de diferentes residências para verificar a viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial no município de Imbituba.



Um resumo com os diferentes parâmetros testados na análise para diferentes cenários pode ser observado na Tabela 2. Em cada cenário desta análise um parâmetro será alternado por vez, resultando em um total de 108 possíveis combinações. Os procedimentos para realizar o dimensionamento dos reservatórios, cálculo do potencial de economia de água pluvial e análise econômica na análise dos diferentes cenários são iguais aos descritos na análise da residência.

**Tabela 2:** Parâmetros testados na análise para diferentes cenários.

Parâmetros testados	
Área de captação (m <sup>2</sup> )	70 ; 100 ; 130 ; 160
Demanda total de água (litros/pessoa.dia)	100,2 ; 125,2 ; 150,2
Número de moradores	3 ; 4 ; 5
Demanda de água pluvial (%)	32,1 ; 42,1 ; 52,1
Reservatório inferior (litros)	500 a 15000*
Reservatório superior (litros)	310

\* Considerando intervalos de 500 litros

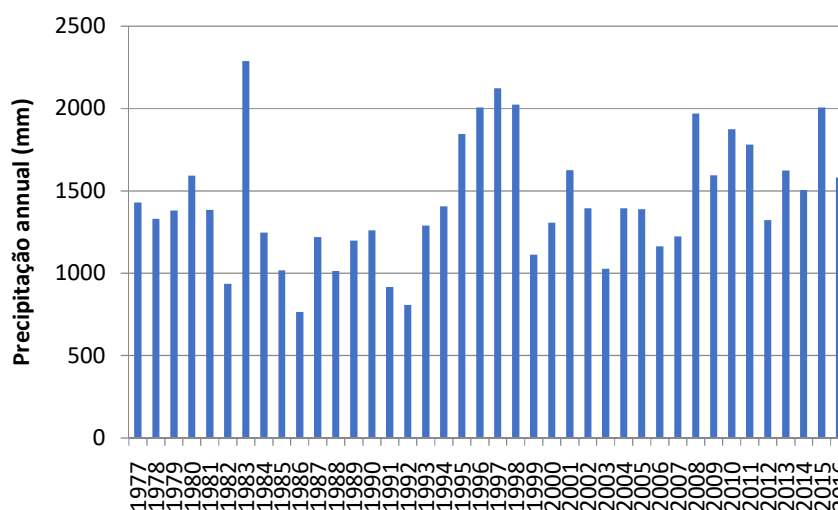
## 4. Resultados

### 4.1. Levantamento de dados

#### 4.1.1. Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos do município de Imbituba foram obtidos no período entre 01/09/1976 e 31/10/2017, disponíveis no site da ANA (2018). A partir da análise desses dados foi observado que a precipitação média diária do município em todo esse período foi de 3,92 mm/dia e a precipitação média mensal foi de 119,1 mm/mês. Considerando apenas os anos em que os dados estavam disponíveis para todos os meses (Figura 6), a precipitação média anual foi de 1434 mm/ano.

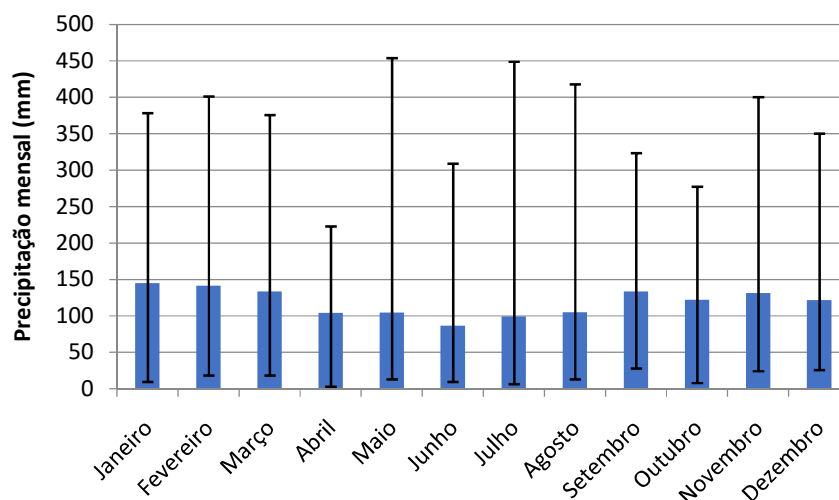
**Figura 6:** Precipitação média anual no município de Imbituba de 1977 a 2016.



O município de Imbituba possui chuvas bem distribuídas ao longo do ano, entretanto, analisando-se atentamente os dados históricos é possível perceber que os períodos de abril a agosto possuem precipitações mais baixas (Figura 7). Nestes meses, com menores precipitações, ocorrerão mais dias em que a demanda de água pluvial não vai ser atendida completamente, pois o volume de água pluvial coletado é menor em relação aos meses com maiores precipitações. Este fato pode interferir na viabilidade da instalação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial, pois para atender a demanda diária total de água pluvial por um número

maior de dias ao longo do ano é necessária a utilização de reservatórios de água de maiores volumes, que possuem um custo maior.

**Figura 7:** Precipitação média mensal com máximos e mínimos no município de Imbituba de 1976 a 2017.



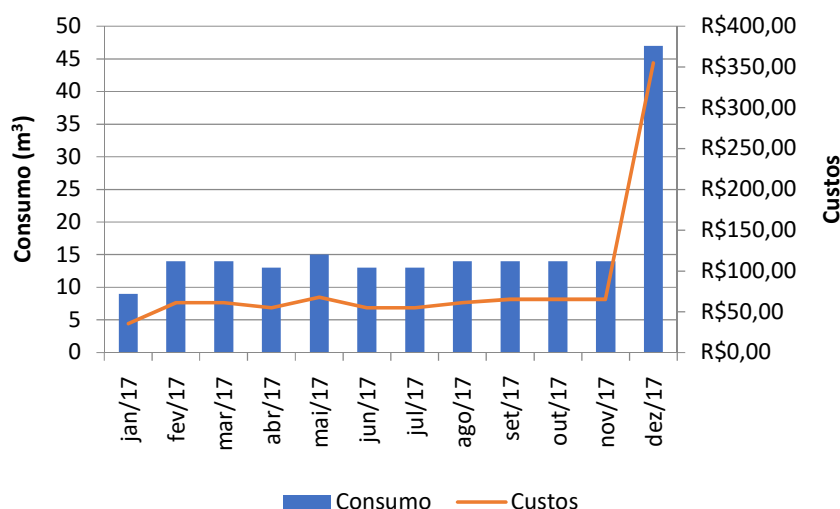
#### 4.1.2. Consumo de água potável na residência

O consumo de água potável foi obtido a partir do questionário (Apêndice A) entregue aos moradores da residência estudada. Nesse questionário foram preenchidas todas as utilizações de água potável e suas durações, no período de duas semanas. Além disso, foram registrados os valores mensurados diariamente pelo hidrômetro da residência. O consumo médio diário obtido por meio da diferença entre as leituras do hidrômetro no primeiro e o no último dia foi de 490 litros por dia, totalizando um consumo de 6.860 litros nesse intervalo de estudo. Essa demanda diária representa um consumo médio de aproximadamente  $14,7 \text{ m}^3$  por mês, considerando um período de 30 dias. Como o número total de moradores da residência é de quatro pessoas, o consumo *per capita* foi de 122,5 litros por pessoa por dia.

O consumo mensal, medido pela concessionária de água de Imbituba, foi obtido por meio de faturas do ano de 2017. Como pode ser observado na Figura 8, a média mensal de consumo ao longo do ano de 2017 foi de  $16,2 \text{ m}^3$ , aproximadamente 10% maior do que a média mensal verificada ao longo do período

de aplicação do questionário, de duas semanas, que foi de  $14,7 \text{ m}^3$ . Contudo, neste trabalho as faturas da concessionária de água de Imbituba não podem ser utilizadas para verificar o consumo real, pois a residência de estudo possui o hidrômetro em um local que não pode ser acessado pelos funcionários da concessionária. Devido a esse fato, os funcionários lançam consumos com base em anos anteriores. Somente algumas vezes, como foi o caso que ocorreu no mês de dezembro do ano de 2017, os funcionários realizaram a leitura do hidrômetro e corrigiram a diferença dos outros meses naquela fatura.

**Figura 8:** Consumo mensal de água e valor das faturas da concessionária.

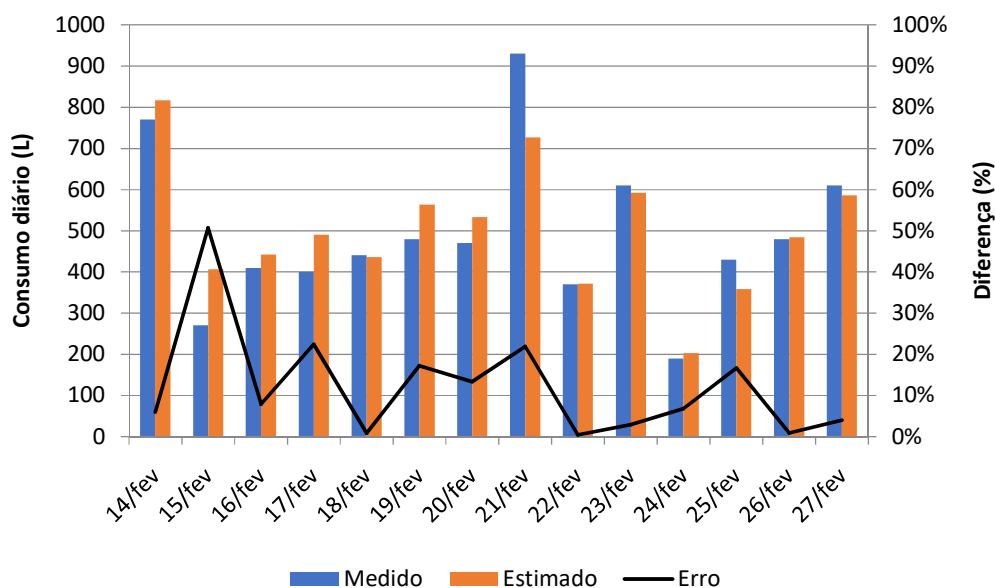


O consumo médio diário obtido por meio do questionário aplicado aos moradores foi de 500,6 litros por dia, totalizando um consumo de aproximadamente 7.009 litros durante o intervalo de 14 dias. Estes valores representam um consumo médio de aproximadamente  $15 \text{ m}^3$  por mês, considerando um período de 30 dias. Com base no número total de moradores o consumo *per capita* foi de 125,2 litros por pessoa por dia. Essa diferença de aproximadamente 2,1% em relação aos dados das leituras do hidrômetro pode ter ocorrido devido a possíveis erros nas anotações do questionário. Os moradores podem ter deixado de anotar algumas utilizações de água potável e/ou terem anotado durações diferentes das reais.

A Figura 9 mostra o consumo médio diário de água potável, no mês de fevereiro do ano de 2018, obtido por meio do questionário e das leituras do hidrômetro. É possível observar que em alguns dias os consumos diários obtidos

por meio do questionário e do hidrômetro foram próximos. Como foi o caso dos dias 18, 22 e 26 de fevereiro de 2018 onde a diferença entre os volumes medidos e estimados de consumo de água potável foi menor que 1%. Nestes dias, os consumos diários medidos foram de 440, 370 e 480 litros, respectivamente. Os consumos diários estimados foram de 436, 372 e 484 litros, respectivamente. Em outros dias essa diferença chegou a 50,7%, como no dia 15 de fevereiro de 2018. Neste dia o consumo medido no hidrômetro foi de 270 litros, mas o consumo obtido por meio do questionário foi de aproximadamente 407 litros. Essa diferença pode ter ocorrido devido ao fato de as leituras diárias no hidrômetro não terem sido realizadas sempre antes de qualquer utilização de água pelos moradores. Isso implica que parte do consumo apontado pelo hidrômetro em determinado dia pode ter sido realizado no dia seguinte ou no dia anterior. Além disso, como já foi relatado anteriormente, pode haver erros nas anotações de usos e durações feitas pelos moradores no questionário. No entanto, a diferença entre média ao longo dos quatorze dias foi de apenas 2,1%.

**Figura 9:** Consumo médio diário de água potável da residência, no período de aplicação do questionário.



Para calcular o consumo de água potável por meio do questionário foram mensuradas as vazões dos equipamentos utilizados pelos moradores. Essas

vazões (Tabela 3) foram obtidas pela média de três medições em cada equipamento. O objetivo dessas medições é calcular o consumo diário de água potável por meio das quantidades e durações dos equipamentos anotados no questionário. A vazão média do vaso sanitário, por ser difícil de mensurar, foi adotada como sendo 1,7 litros por segundo, ou seja, a vazão de projeto da NBR 5626 (ABNT,1998).

**Tabela 3:** Vazões médias medidas na residência analisada.

Aparelho	Vazão (litros/s)
Chuveiro	0,09
Torneira do lavatório	0,06
Pia da cozinha	0,07
Tanque	0,08

O consumo *per capita* diário na residência de estudo foi de aproximadamente 125,2 litros, considerando as vazões mensuradas e os dados do questionário. O consumo diário em cada equipamento é apresentado na Tabela 4, onde é possível observar os maiores usos diários de água potável (banhos, máquina de lavar roupas, descargas e com lavagem de louças) por parte dos moradores.

**Tabela 4:** Consumo *per capita* diário.

Uso	Média de consumo	
	(litros/pessoa.dia)	(%)
Chuveiro	34,1	27,2
Máquina de lavar roupa	27,9	22,3
Descarga do vaso sanitário	22,3	17,9
Lavar a louça	17,1	13,6
Lavar as mãos	9,2	7,3
Escovar os dentes	6,1	4,8
Lavar o rosto	2,7	2,1
Quintal	2,5	2,0
Tanque	1,6	1,3
Cozinhar	0,9	0,7
Fazer a barba	0,9	0,7
Total	125,2	100,0

Os usos diários de água potável encontrados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Dalsenter (2016). Segundo a autora os maiores usos

encontrados em um condomínio localizado em Florianópolis foram: banhos, lavar a louça, escovar os dentes, máquina de lavar roupa, descargas e lavar as mãos. É importante salientar a ocorrência de pequenas variações devido ao comportamento diferente de cada família estudada.

#### 4.1.3. Demanda de água pluvial

A demanda de água pluvial, utilizada neste trabalho, é representada pelo volume de água potável utilizado com descargas, máquina de lavar roupas e quintal em relação ao volume total consumido. Por meio da Tabela 4 é possível observar que o consumo médio diário *per capita* de água potável com descargas é de 22,3 litros, com a máquina de lavar roupas é de 27,9 litros e com o quintal é de 2,5 litros. O consumo diário *per capita* com esses três usos é de 52,7 litros, que representa aproximadamente 42,1% do consumo diário *per capita* de 125,2 litros.

### 4.2. Potencial de economia de água potável

#### 4.2.1. Análise específica

A Tabela 5 apresenta os dados de entrada necessários para dimensionar os reservatórios e calcular o potencial de economia de água potável da residência estudada no programa Netuno.

**Tabela 5:** Dados de entrada para realizar a análise específica no programa Netuno.

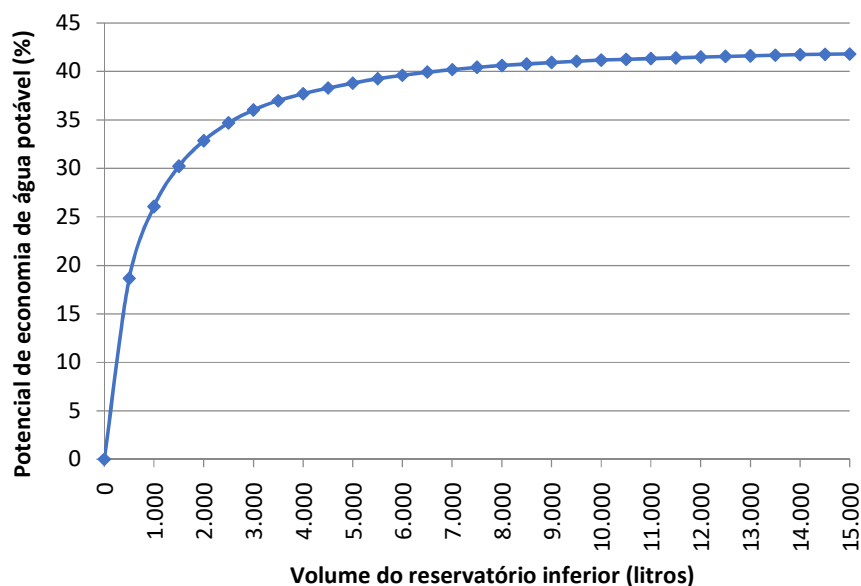
Descarte inicial (mm)	2
Área de captação (m <sup>2</sup> )	130
Demanda total de água (litros/pessoa.dia)	125,2
Número de moradores	4
Demanda de água pluvial (% da demanda total de água)	42,1
Coeficiente de escoamento superficial	0,8

O volume do reservatório superior de água pluvial foi calculado por meio da Equação 1, que resultou em aproximadamente 211 litros. Desta maneira, foi adotado um reservatório de 310 litros que é o primeiro volume disponível acima do calculado, a partir do orçamento de três lojas de materiais de construção de Imbituba.

O volume do reservatório inferior foi calculado após o dimensionamento do reservatório superior. A Figura 10 apresenta o potencial de economia de água

potável para cada volume de reservatório testado no programa Netuno. O volume ideal apontado pelo programa Netuno foi de 8.000 litros. Este volume é escolhido quando a variação entre potenciais de economia de dois volumes testados é menor que  $1\%/m^3$ .

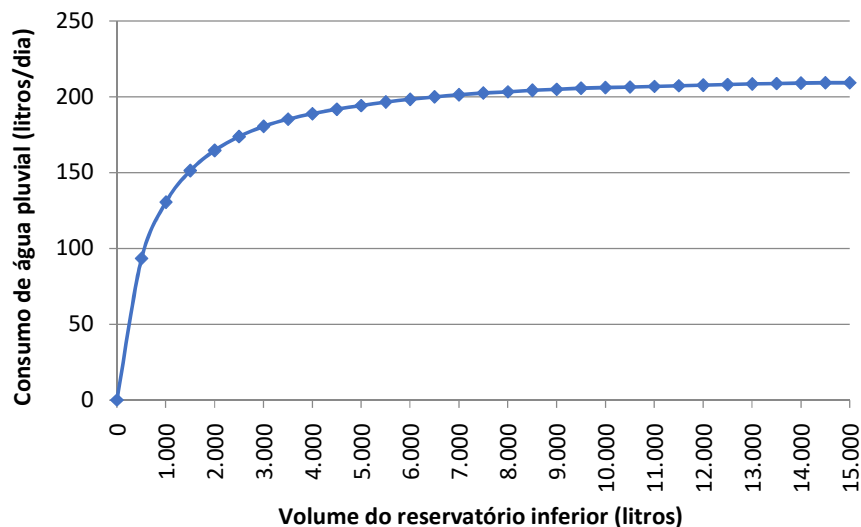
**Figura 10:** Potencial de economia de água potável para cada volume do reservatório inferior testado pelo Netuno.



A escolha do volume de reservatório inferior de 8.000 litros gera um potencial de uso de água pluvial de 40,6%. Este valor é próximo da demanda de água pluvial dos moradores da residência, que é de 42,1%. Considerando a demanda diária de água da residência, que é de 500,6 litros, esse sistema pode fornecer uma média diária de 203,3 litros de água pluvial (Figura 11). Com estes valores obtidos o sistema de aproveitamento de água pluvial proporcionaria uma redução no consumo mensal de água potável da residência de aproximadamente  $6,4 m^3$ , considerando um mês com duração de 30 dias. Esta redução faria com que o consumo médio mensal baixasse de  $15 m^3$  para aproximadamente  $8,9 m^3$ . Desta maneira, os moradores passariam a pagar a taxa mínima mensal de consumo da concessionária que é de  $10 m^3$ .



**Figura 11:** Consumo diário de água pluvial calculado pelo Netuno.

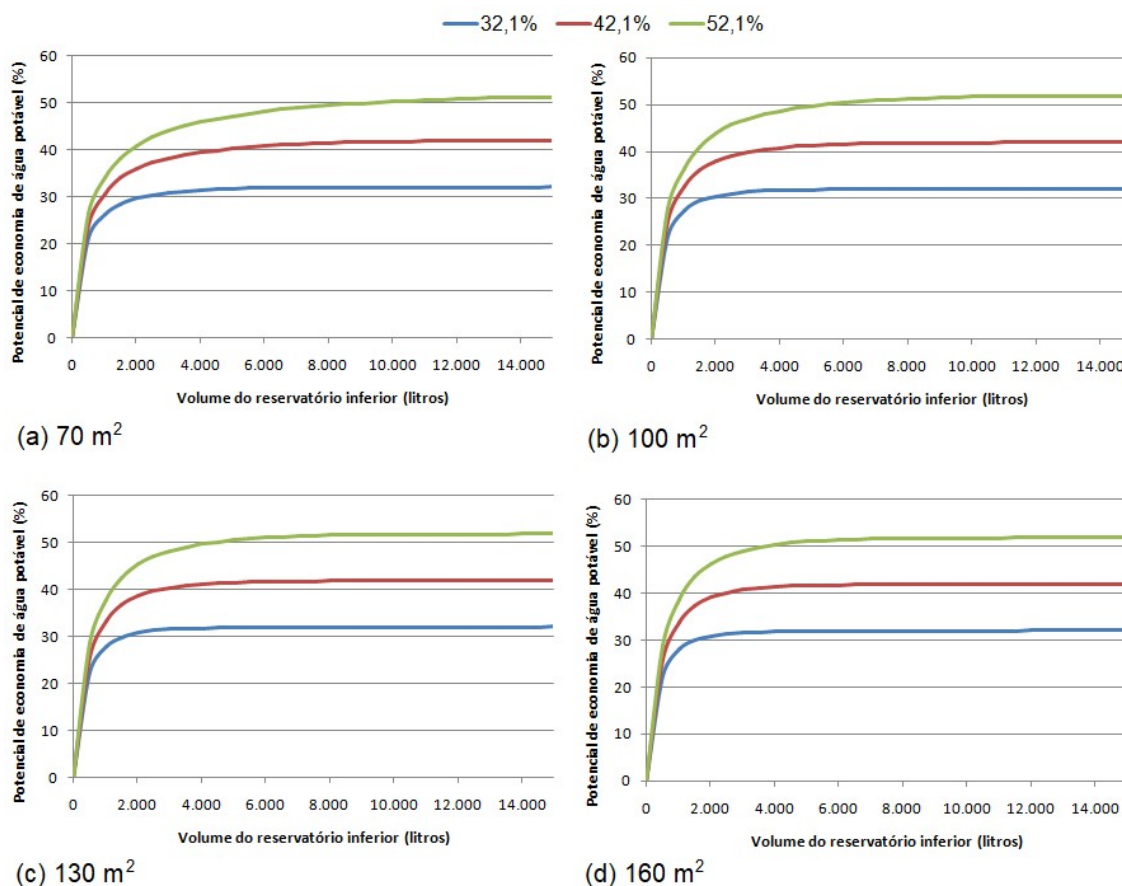


#### 4.2.2. Análise para diferentes cenários

O dimensionamento dos reservatórios e o cálculo do potencial de economia de água potável, na análise para diferentes cenários, foram realizados de maneira análoga a análise específica. Contudo, na análise para diferentes cenários serão testados 108 cenários obtidos a partir das escolhas anteriormente mencionadas na seção 3.6. As variações testadas nesses cenários ocorrerão nas demandas de água potável e pluvial, número de moradores e área de captação, como pode ser observado na Tabela 2, da seção 3.6. Os parâmetros como descarte inicial e o coeficiente de escoamento superficial foram considerados constantes.

Os potenciais de economia de água potável para cada volume de reservatório inferior, com demanda de 100,2 litros de água potável por pessoa por dia e número de moradores diferentes, são apresentados nas Figuras 12 a 14. Esta divisão foi adotada para realizar a comparação dos potenciais de economia de água potável de acordo com as áreas de captação.

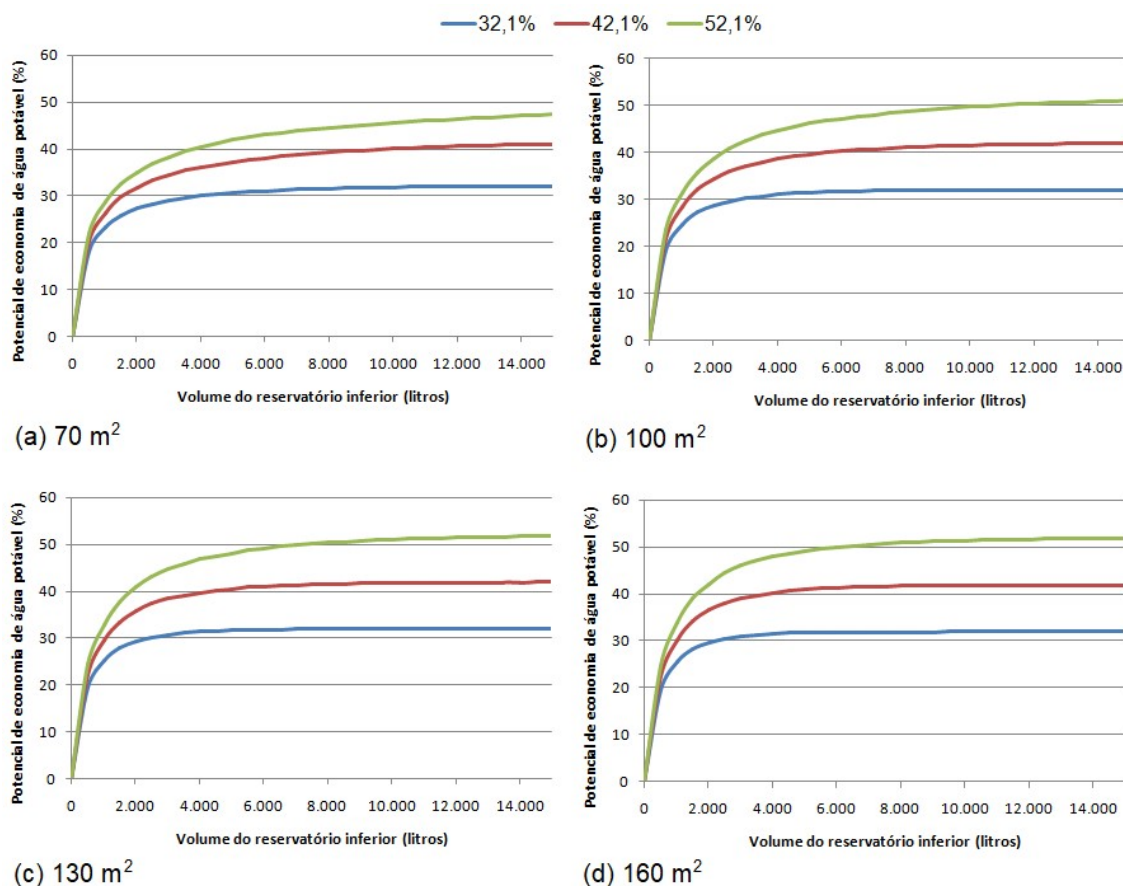
**Figura 12:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando três moradores e demanda diária de água potável de 100,2 litros/pessoa.dia.



Na Figura 12 é possível observar que as curvas dos potenciais de economia de água potável já se aproximam das demandas de água pluvial para pequenos volumes de reservatórios. Isto ocorre devido à baixa demanda diária de água potável e ao baixo número de moradores testados nestes cenários, que fazem com que as demandas sejam atendidas mesmo para pequenas áreas de captação.

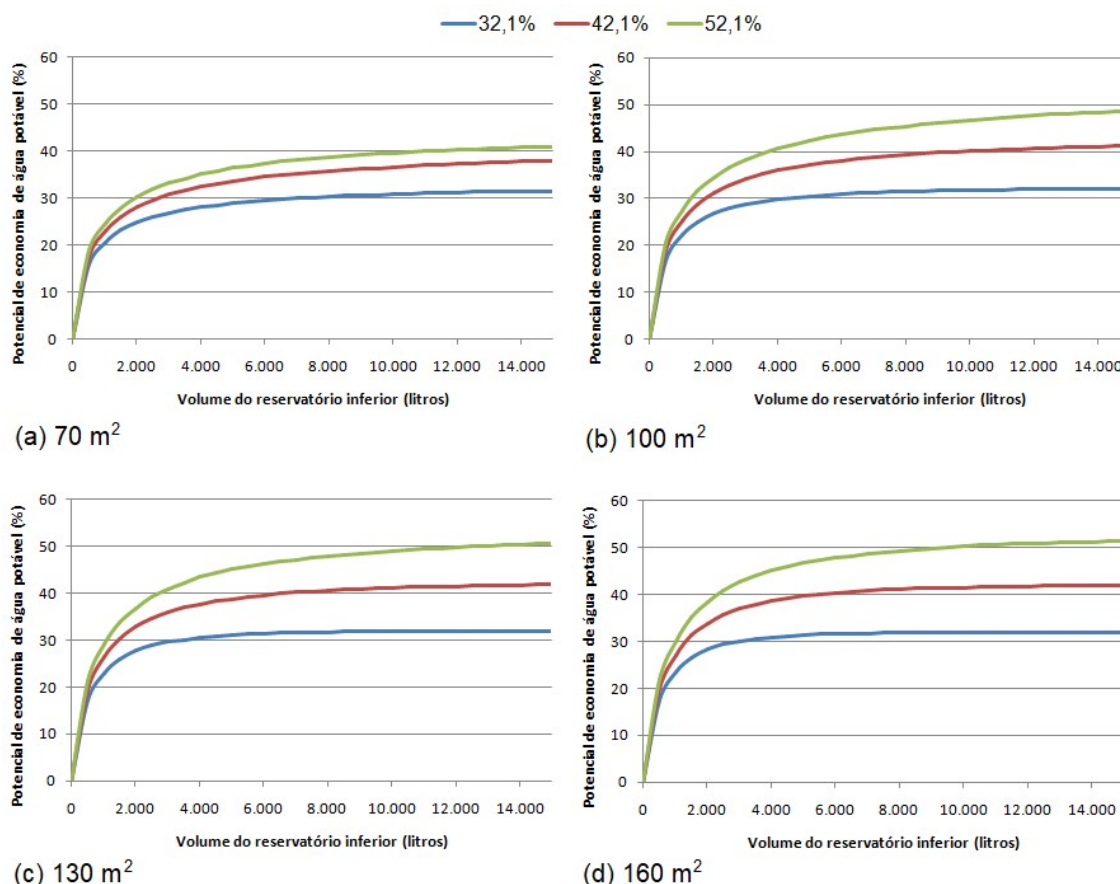
Para os maiores volumes a diferença dos potenciais de economia para as demandas tende a zero. O volume do reservatório inferior ideal é definido quando a variação ( $\%/m^3$ ) do potencial de economia entre dois volumes testados é menor que  $1\%/m^3$ .

**Figura 13:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imituba, considerando quatro moradores e demanda diária de água potável de 100,2 litros/pessoa.dia.



Na Figura 13 os volumes dos reservatórios inferiores necessários para que os potenciais de economia de água potável se aproximem das demandas de água pluvial são maiores que no caso anterior. Isto ocorre devido ao número maior de moradores considerados nestes cenários, sendo mais perceptível no gráfico (a) da Figura 13.

**Figura 14:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imituba, considerando cinco moradores e demanda diária de água potável de 100,2 litros/pessoa.dia.



Na Figura 14 os volumes dos reservatórios inferiores necessários para que os potenciais de economia de água potável se aproximem das demandas de água pluvial são maiores que nos dois casos anteriores com o número de três e quatro moradores. Isto ocorre devido ao maior número de moradores considerados nestes cenários, que é cinco, fazendo com que a demanda diária de água da residência seja muito elevada. Para pequenas áreas de captação, de 70 m<sup>2</sup>, é possível observar que as demandas de água pluvial não conseguem ser atendidas completamente, mesmo para grandes volumes de reservatórios.

As curvas dos potenciais de economia de água potável para demandas diárias de 125,2 e 150,2 litros de água potável por pessoa podem ser observadas no Apêndice B. Os gráficos dos cenários com maiores demandas mostram que são necessários volumes maiores de reservatórios para que os potenciais de economia

de água potável se aproximem das demandas de água pluvial. Em alguns casos, nos quais existe alta demanda *per capita* (150,2 litros/dia), alto número de moradores (cinco) e áreas de captação pequenas (70 m<sup>2</sup>) as curvas dos potenciais de economia de água potável não se aproximam das demandas para os volumes testados nessa análise. Isto ocorre devido à elevada demanda de água pluvial desses cenários que não consegue ser atendida pelo volume de água pluvial coletado pelas áreas de captação.

As capacidades dos reservatórios inferiores ideais e os correspondentes potenciais de economia de água potável para cada caso são apresentados nas Tabelas 6 a 8. A Tabela 6 apresenta os resultados para demanda diária de água de 100,2 litros por pessoa; a Tabela 7 para demanda diária de 125,2 litros por pessoa e a Tabela 8 para demanda de 150,2 litros por pessoa. Para a análise desses diferentes cenários os volumes dos reservatórios superiores foram considerados iguais ao da residência estudada, ou seja, 310 litros.

**Tabela 6:** Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 100,2 litros/pessoa.dia.

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
70	32,1	3	4500	31,5
		4	7000	31,2
		5	8500	30,5
	42,1	3	6500	41,1
		4	9000	39,5
		5	9500	35,0
	52,1	3	8500	49,5
		4	9500	45,0
		5	8500	38,4
100	32,1	3	4000	31,7
		4	5500	31,5
		5	7000	31,2
	42,1	3	5000	41,4
		4	7500	40,8
		5	9000	39,7
	52,1	3	6500	50,8
		4	9000	49,3
		5	11500	46,8

**Tabela 6:** Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 100,2 litros/pessoa.dia. (continuação).

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
130	32,1	3	3500	31,7
		4	5000	31,6
		5	6000	31,5
	42,1	3	4500	41,5
		4	6500	41,1
		5	8000	40,6
	52,1	3	6000	51,0
		4	8000	50,2
		5	10000	49,0
160	32,1	3	3500	31,7
		4	4500	31,7
		5	5500	31,6
	42,1	3	4500	41,5
		4	6000	41,3
		5	7500	40,9
	52,1	3	5500	51,2
		4	7500	50,7
		5	9000	49,7

**Tabela 7:** Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 125,2 litros/pessoa.dia.

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
70	32,1	3	6000	31,3
		4	8500	30,5
		5	9500	28,5
	42,1	3	8000	40,1
		4	9500	36,4
		5	8500	31,3
	52,1	3	9500	46,8
		4	8500	39,0
		5	7000	32,0

**Tabela 7:** Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 125,2 litros/pessoa.dia. (continuação).

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
100	32,1	3	5000	31,6
		4	7000	31,3
		5	8500	30,5
	42,1	3	7000	41,1
		4	9000	39,7
		5	11000	38,0
	52,1	3	8000	49,7
		4	11500	47,4
		5	10500	41,9
130	32,1	3	4500	31,7
		4	6000	31,4
		5	7500	31,0
	42,1	3	6000	41,2
		4	8000	40,6
		5	10000	39,5
	52,1	3	7500	50,6
		4	10000	49,0
		5	11500	46,4
160	32,1	3	4000	31,7
		4	5500	31,5
		5	7000	31,3
	42,1	3	5500	41,4
		4	7500	41,0
		5	9000	40,2
	52,1	3	7000	50,9
		4	9000	49,8
		5	10500	48,0

**Tabela 8:** Volume do reservatório inferior ideal e potencial de economia de água potável para demanda de 150,2 litros/pessoa.dia.

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
70	32,1	3	7500	30,9
		4	10000	29,2
		5	8500	25,5
	42,1	3	10000	38,6
		4	8500	32,2
		5	7000	26,5
	52,1	3	8500	41,8
		4	7000	33,3
		5	6000	26,9
100	32,1	3	6000	31,5
		4	8000	30,6
		5	10500	29,7
	42,1	3	8000	40,2
		4	11000	38,6
		5	10500	34,3
	52,1	3	10000	48,3
		4	10000	42,6
		5	9500	36,6
130	32,1	3	5500	31,5
		4	7000	31,2
		5	9500	30,6
	42,1	3	7000	40,8
		4	9500	39,7
		5	11500	38,1
	52,1	3	9000	49,7
		4	11000	47,3
		5	11000	42,9
160	32,1	3	5000	31,6
		4	6500	31,4
		5	8500	31,0
	42,1	3	6500	41,1
		4	8500	40,3
		5	10500	39,1
	52,1	3	8000	50,2
		4	10500	48,5
		5	12000	46,1

Observando os resultados é possível afirmar que os volumes ideais dos reservatórios inferiores e os potenciais de economia apresentam certos padrões de acordo com cada variável. De modo geral, quanto maior a área de captação menor o tamanho do reservatório para atingir um determinado potencial de economia de

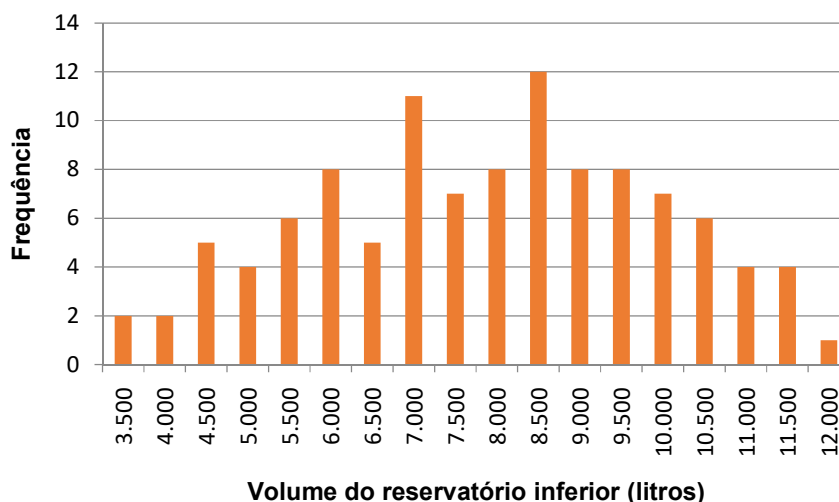


água potável. Para as baixas demandas de água este fato é facilmente observado, conforme mostra a Tabela 6.

Nos cenários em que a demanda diária de água potável é alta, caso da Tabela 8, ocorrem algumas exceções nessa tendência, principalmente quando é considerado um número maior de moradores. Estas exceções ocorrem pelo fato das áreas de captação não conseguirem captar água pluvial suficiente para atender a demanda diária, que nestes casos é muito elevada. Para áreas de 70 m<sup>2</sup> os potenciais de economia ficaram abaixo da demanda na maioria dos casos.

A frequência dos volumes de reservatórios inferiores deais obtidos na análise para diferentes cenários pode ser observada na Figura 15. É possível perceber que os volumes dimensionados ficaram entre 3.500 e 12.000 litros. Na maioria dos cenários, aproximadamente 68,5% dos casos, o volume ideal obtido para o reservatório inferior variou entre 6.000 e 10.000 litros.

**Figura 15:** Frequência dos volumes de reservatório inferior na análise para diferentes cenários.



#### 4.3. Análise econômica

A análise econômica tem como finalidade verificar a viabilidade da implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em Imbituba. Para a realização desta análise foram levantados custos de instalação (reservatórios, motobombas, mão de obra, tubulações e acessórios) e manutenção (consumo de

energia elétrica do sistema) neste município. Os custos dos reservatórios foram obtidos por meio de orçamento de três lojas de materiais de construção em Imbituba considerando, portanto, apenas os valores mais baixos para cada volume de reservatório, como são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9:** Custo dos reservatórios em lojas de Imbituba.

Reservatório (litros)	Valor (R\$)
310	142,00
500	183,00
1000	294,00
1500	587,00
2000	770,00
3000	1090,00
5000	2080,00

O valor da motobomba adotada com  $\frac{1}{2}$  CV de potência é de R\$292,00. A motobomba, da marca Eletroplás, foi a de menor valor e potência encontrada nas três lojas pesquisadas no município de Imbituba.

Para a composição do custo de mão de obra para a instalação dos sistemas deste trabalho foi considerada uma rotina de trabalho de oito horas por dia com duração de quatro dias úteis para cada residência. O valor por hora trabalhada de um encanador foi considerado como sendo de R\$19,32. Esse valor foi obtido com base nas tabelas de insumos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2018), válido para o mês de abril de 2018 em Santa Catarina. Embora ocorram variações no tempo de trabalho e custo de mão de obra para cada residência, o período foi adotado devido à ausência dos projetos arquitetônicos e hidrossanitários. No caso da existência dos projetos seria possível determinar de maneira mais precisa o tempo de trabalho para cada residência.

Nos custos de manutenção foi considerado o consumo mensal de energia elétrica pelo sistema. O valor da tarifa de energia cobrado pela CELESC é de R\$0,545733/kWh até 150 kWh. Para consumos acima desse valor o custo passa a ser de R\$0,642500/kWh.

O benefício econômico dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é obtido por meio da redução das faturas de água e esgoto. As tarifas de água, aplicadas por faixas de consumo pela concessionária de água de Imbituba, foram

obtidas por meio das faturas da residência de estudo e são apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10:** Tarifas de água por faixas de consumo - Imbituba.

Consumo (m <sup>3</sup> )	Valor (R\$/m <sup>3</sup> )
Abaixo de 10	3,77
Entre 11 e 25	6,91
Entre 26 e 50	9,70
Acima de 50	11,63

Na região da residência não existe rede de esgoto e, portanto, não ocorre a cobrança de tarifas de esgoto. Desta maneira, o benefício financeiro do sistema será obtido exclusivamente por meio da redução das faturas de água.

#### 4.3.1. Análise específica

Nos custos iniciais de implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial na residência de estudo foram considerados os custos dos reservatórios inferiores e superiores, as motobombas, a mão de obra e as tubulações e acessórios. Para o reservatório inferior foi adotado um reservatório de 3.000 litros e um reservatório de 5.000 litros, totalizando um volume de 8.000 litros. Esta escolha deu-se devido a indisponibilidade de reservatórios com volumes acima de 5.000 litros nas lojas de materiais de construção em Imbituba. Os custos iniciais podem ser observados na Tabela 11.

**Tabela 11:** Custos iniciais de implantação do sistema de aproveitamento pluvial na residência de estudo.

Insumos	Custo (R\$)
Reservatório superior 310 litros	142,00
Reservatório inferior 3000 litros	1090,00
Reservatório inferior 5000 litros	2080,00
Motobomba de 1/2 CV (2 unidades)	584,00
Mão de obra	618,24
Tubulações e acessórios	677,14
Total	5191,38

Considerando os custos iniciais, consumo mensal de energia elétrica do sistema e a redução nas faturas de água, durante um período de análise de vinte anos, é possível realizar a análise econômica da implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial da residência. Esta análise pode ser realizada por meio do programa Netuno. Neste estudo foi obtido um valor presente líquido de R\$1.450,89 com período de retorno do investimento de 178 meses (14 anos e 10 meses). A taxa interna de retorno do investimento foi de 0,73% ao mês. Este valor mostra que o sistema é economicamente viável, pois a taxa interna de retorno é maior que a taxa mínima de atratividade adotada, de 0,5% ao mês.

#### **4.3.2. Análise para diferentes cenários**

Na análise para diferentes cenários foi adotado o menor número de reservatórios para compor o volume ideal obtido por meio do programa Netuno. Isto ocorreu devido à indisponibilidade de reservatórios com volumes acima de 5.000 litros nas lojas de materiais de construção pesquisadas no município de Imbituba. Nos casos em que mais de uma combinação era possível, com o mesmo número de reservatórios, foi adotada a combinação com o menor custo.

No caso do menor reservatório inferior de 3.500 litros foi adotado um reservatório de 3.000 litros e um de 500 litros. No caso do maior reservatório inferior, de 12.000 litros, foram considerados os custos de dois reservatórios de 5.000 litros e um de 2.000 litros para montar o sistema. A mesma lógica foi aplicada aos demais volumes encontrados para cada cenário. Para os reservatórios superiores foi considerada a utilização de um reservatório com volume de 310 litros para todos os casos.

Considerando essa composição de custos para os reservatórios inferiores foi possível realizar por meio do programa Netuno as análises de viabilidade econômica. Os resultados para os diferentes cenários são apresentados nas Tabelas 12 a 14.

**Tabela 12:** Análise econômica para os diferentes cenários com demanda de 100,2 litros/pessoa.dia de água potável.

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Custo total (R\$)	Valor presente líquido (R\$)	Período de retorno (meses)	Taxa interna de retorno (%)
70	32,1	3	4500	3474,43	-3574,65	-	-
		4	7000	4823,38	-2081,81	-	0,04
		5	8500	5401,83	478,19	216	0,58
	42,1	3	6500	4612,93	-4741,48	-	-
		4	9000	5529,48	-2823,29	-	-
		5	9500	5866,43	618,14	212	0,59
	52,1	3	8500	5401,83	-5557,09	-	-
		4	9500	5866,43	-3184,59	-	-
		5	8500	5401,83	1070,18	192	0,67
100	32,1	3	4000	3137,48	-3239,91	-	-
		4	5500	4148,33	-1411,17	-	0,15
		5	7000	4823,38	1208,97	183	0,71
	42,1	3	5000	3937,88	-4070,67	-	-
		4	7500	4951,03	-2254,23	-	-
		5	9000	5529,48	1127,77	191	0,67
	52,1	3	6500	4613,93	-4775,56	-	-
		4	9000	5529,48	-2868,68	-	-
		5	11500	7004,93	-386,03	-	0,45
130	32,1	3	3500	3009,83	-3113,53	-	-
		4	5000	3937,88	-1202,76	-	0,19
		5	6000	4052,88	2005,22	148	0,88
	42,1	3	4500	3474,43	-3609,53	-	-
		4	6500	4613,93	-1919,29	-	0,06
		5	8000	5191,38	1458,83	177	0,74
	52,1	3	6000	4052,88	-4219,80	-	-
		4	8000	5191,38	-2537,38	-	-
		5	10000	6329,88	276,14	227	0,54
160	32,1	3	3500	3009,83	-3113,59	-	-
		4	4500	3474,43	-741,19	-	0,29
		5	5500	4148,33	1927,91	152	0,87
	42,1	3	4500	3474,43	-3609,99	-	-
		4	6000	4052,88	-1362,78	-	0,15
		5	7500	4951,03	1695,28	168	0,78
	52,1	3	5500	4148,33	-4314,80	-	-
		4	7500	4951,03	-2300,81	-	-
		5	9000	5529,48	1068,09	193	0,67

**Tabela 13:** Análise econômica para os diferentes cenários com demanda de 125,2 litros/pessoa.dia de água potável.

Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Custo total (R\$)	Valor presente líquido (R\$)	Período de retorno (meses)	Taxa interna de retorno (%)
70	32,1	3	6000	4613,93	-2869,69	-	-
		4	8500	5401,83	477,44	216	0,58
		5	9500	5529,48	1357,46	183	0,71
	42,1	3	8000	5191,38	-3481,86	-	-
		4	9500	5529,48	611,81	212	0,59
		5	8500	5401,83	2202,36	159	0,83
	52,1	3	9500	5529,48	-4183,69	-	-
		4	8500	5401,83	1065,34	192	0,67
		5	7000	4823,38	2945,13	136	0,98
100	32,1	3	5000	3937,88	-2198,52	-	-
		4	7000	4823,38	1206,00	183	0,71
		5	8500	5401,83	2006,37	164	0,81
	42,1	3	7000	4823,38	-3121,09	-	-
		4	9000	5529,48	1119,88	191	0,67
		5	11000	6444,88	2788,07	156	0,85
	52,1	3	8000	5191,38	-3524,20	-	-
		4	11500	7004,93	-393,90	-	0,45
		5	10500	6540,33	3535,80	143	0,93
130	32,1	3	4500	3474,43	-1737,19	-	-
		4	6000	4052,88	2001,98	148	0,90
		5	7500	4951,03	2595,93	145	0,92
	42,1	3	6000	4052,88	-2355,71	-	-
		4	8000	5191,38	1450,89	178	0,73
		5	10000	6329,88	3274,75	146	0,91
	52,1	3	7500	4951,03	-3290,28	-	-
		4	10000	6329,88	268,26	227	0,54
		5	11500	7004,93	3960,76	141	0,95
160	32,1	3	4000	3137,48	-1401,90	-	0,01
		4	5500	4148,33	1925,33	152	0,87
		5	7000	4823,38	2780,62	140	0,96
	42,1	3	5500	4148,33	-2450,76	-	-
		4	7500	4951,03	1687,38	168	0,78
		5	9000	5529,48	4238,81	123	1,09
	52,1	3	7000	3937,88	-2278,42	-	-
		4	9000	5529,48	1060,24	193	0,66
		5	10500	6540,33	4631,68	128	1,05

**Tabela 14:** Análise econômica para os diferentes cenários com demanda de 150,2 litros/pessoa.dia de água potável.

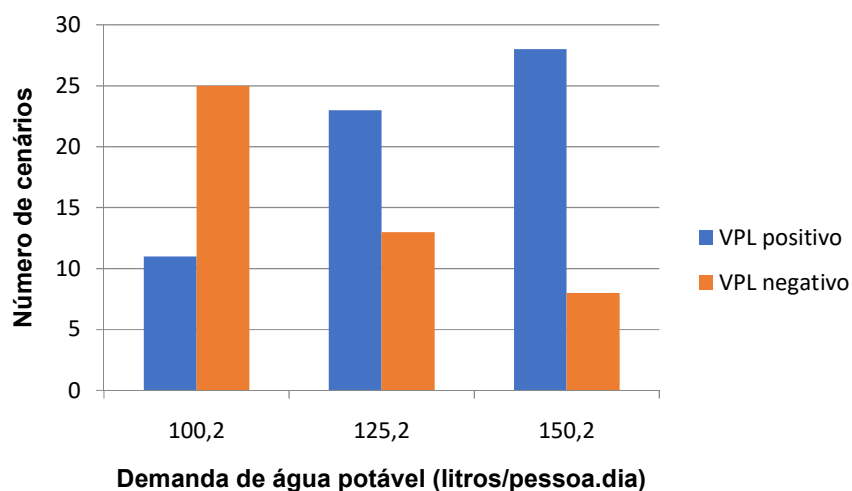
Área (m <sup>2</sup> )	Demanda de água pluvial (%)	Número de moradores	Volume do reservatório inferior (litros)	Custo total (R\$)	Valor presente líquido (R\$)	Período de retorno (meses)	Taxa interna de retorno (%)
70	32,1	3	7500	4951,03	-237,78	-	0,46
		4	10000	6329,88	492,37	218	0,57
		5	8500	5401,83	1993,79	164	0,80
	42,1	3	10000	6329,88	-1650,52	-	0,24
		4	8500	5401,83	2114,67	161	0,82
		5	7000	4823,38	2907,17	137	0,97
	52,1	3	8500	5401,83	-743,48	-	0,37
		4	7000	4823,38	2895,23	137	0,97
		5	6000	4052,88	3774,21	111	1,19
100	32,1	3	6000	4052,88	652,95	199	0,64
		4	8000	5191,38	1944,98	163	0,81
		5	10500	6540,33	2125,42	170	0,77
	42,1	3	8000	5191,38	-526,23	-	0,41
		4	11000	6444,88	2529,81	161	0,82
		5	10500	6540,33	3503,83	144	0,93
	52,1	3	10000	6329,88	-1702,26	-	0,23
		4	10000	6329,88	3363,79	144	0,92
		5	9500	5866,43	4791,20	119	1,12
130	32,1	3	5500	4148,33	557,47	205	0,62
		4	7000	4823,38	2425,45	147	0,90
		5	9500	5529,48	3357,27	136	0,98
	42,1	3	7000	4823,38	-163,41	-	0,47
		4	9500	5866,43	3367,38	140	0,95
		5	11500	7004,93	4101,50	139	0,96
	52,1	3	9000	5529,48	-912,85	-	0,34
		4	11000	6444,88	3813,19	138	0,97
		5	11000	6444,88	5989,49	111	1,19
160	32,1	3	5000	3937,88	766,10	193	0,67
		4	6500	4613,93	2682,51	139	0,96
		5	8500	5401,83	3629,24	131	1,02
	42,1	3	6500	4613,93	44,25	237	0,51
		4	8500	5401,83	3968,37	125	1,06
		5	10500	6540,33	4864,47	124	1,07
	52,1	3	8000	5191,38	-579,30	-	0,40
		4	10500	6540,33	3894,64	138	0,97
		5	12000	7215,38	6221,72	116	1,15

Nos 108 cenários analisados foi possível observar que o valor presente líquido foi positivo em 62 casos. Este dado indica que a instalação de sistemas de

aproveitamento de água pluvial é economicamente viável em aproximadamente 57,4% dos cenários analisados. O tempo de retorno do investimento, nos casos economicamente viáveis, variou entre 111 e 237 meses. A maior taxa interna de retorno obtida foi de 1,19% ao mês. O número de cenários economicamente viáveis poderia ser maior se houvesse a cobrança de tarifas de esgoto no município de Imbituba. Contudo, como não existe essa cobrança, a economia do sistema ocorre apenas pela redução do valor nas faturas de consumo de água potável e, consequentemente, o número de casos em que o sistema é economicamente viável diminui.

É possível observar na Figura 16 que a viabilidade econômica aumenta quando a demanda diária de água potável é maior. Nos casos em que a demanda diária considerada foi de 150,2 litros por pessoa por dia, o valor presente líquido foi positivo em 77,8% dos casos testados. Para os cenários com menor demanda diária de água potável, 100,2 litros por pessoa por dia, apenas 30,6% dos cenários apresentaram valor presente líquido positivo.

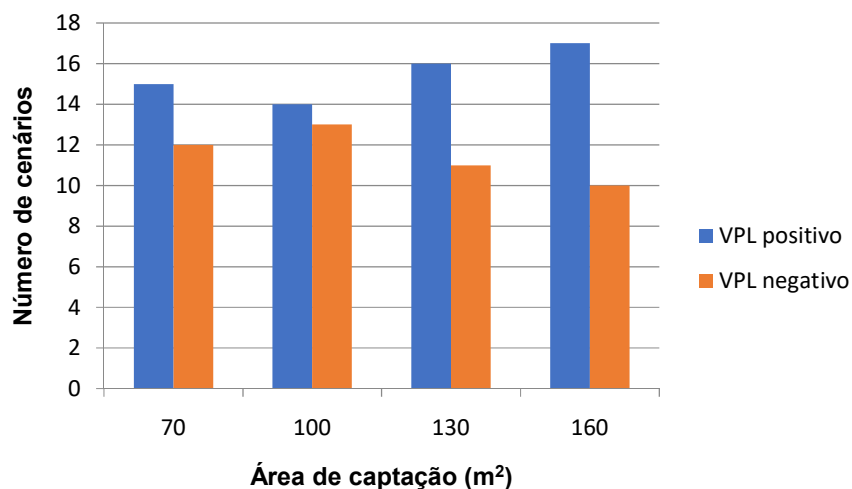
**Figura 16:** Valor presente líquido (VPL) para as diferentes demandas de água potável.



A viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial aumentou com o aumento das áreas de captação (Figura 17). Para áreas de captação com 70 m<sup>2</sup> aproximadamente 55,6% dos cenários testados são economicamente viáveis. Para áreas de captação com 160 m<sup>2</sup> este percentual aumenta para aproximadamente 63,0% dos cenários.

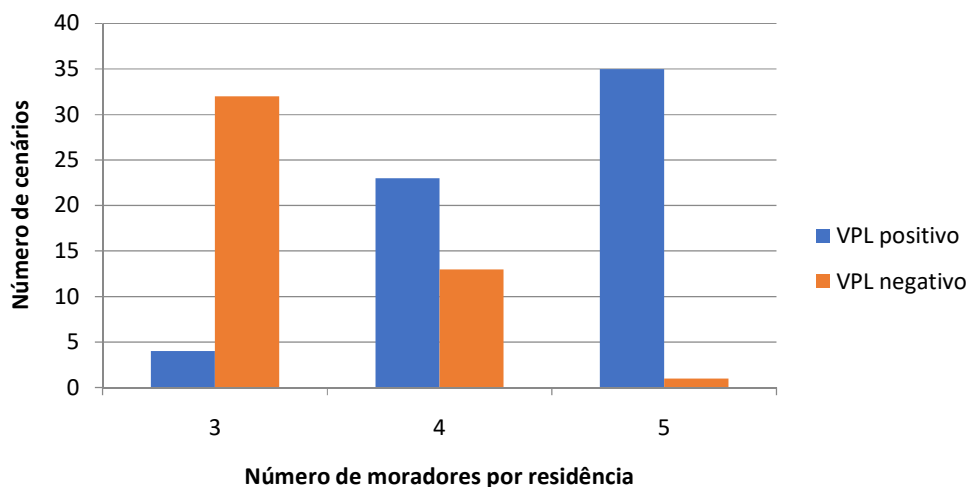


**Figura 17:** Valor presente líquido (VPL) para as diferentes áreas de captação.



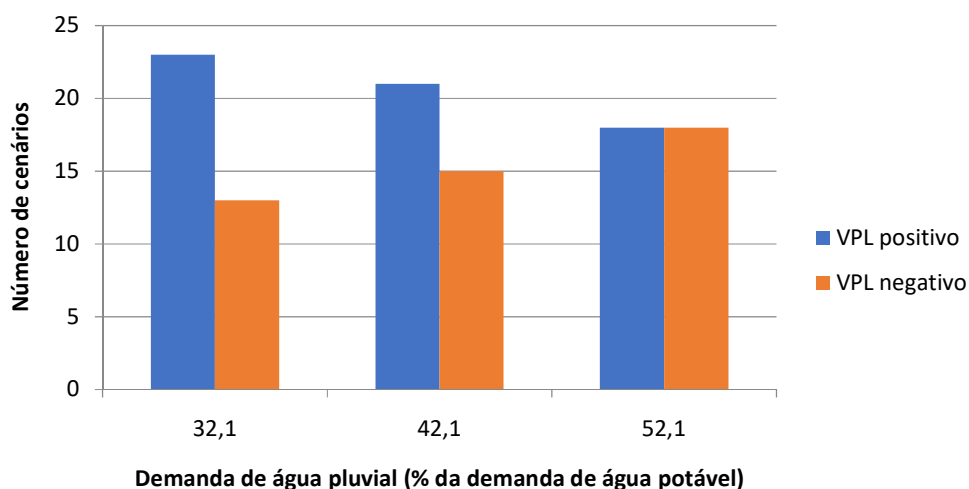
A variável com maior influência na viabilidade econômica dos cenários testados foi o número de moradores (Figura 18). Nos cenários com três moradores por residência, apenas 11,1% dos casos apresentaram valor presente líquido positivo. Contudo, para cenários com cinco moradores por residência, 97,2% dos casos apresentaram valor presente líquido positivo. O principal fator responsável pela baixa viabilidade econômica nos cenários com três moradores por residência é a existência de uma taxa mínima mensal de consumo da concessionária, de 10 m<sup>3</sup>, pois estes casos apresentam menores consumos mensais.

**Figura 18:** Valor presente líquido (VPL) para os diferentes números de moradores.



O número de cenários em que a instalação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é economicamente viável diminuiu com o aumento da demanda de água pluvial (Figura 19). Nos cenários com demanda de água pluvial igual a 32,1% da demanda total de água, aproximadamente 63,9% dos casos apresentaram valor presente líquido positivo. Nos cenários com demanda de água pluvial igual a 52,1% da demanda total de água potável, apenas 50,0% dos casos apresentaram valor presente líquido positivo. Uma explicação para essa redução no percentual de viabilidade com o aumento das demandas de água pluvial é a necessidade de utilização de reservatórios inferiores com maiores volumes para atender a demanda completamente, o que implica em maior custo de instalação.

**Figura 19:** Valor presente líquido (VPL) para as diferentes demandas de água pluvial.



## 5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares em Imbituba. Essa avaliação foi realizada na residência de estudo com quatro moradores e em diferentes cenários. Constatou-se que a instalação desses sistemas é economicamente viável em 57,4% dos cenários analisados.

O período de retorno, obtido na análise econômica, para a residência de estudo foi de aproximadamente 178 meses e a taxa de retorno do investimento foi de 0,73% ao mês. O principal fator responsável pelo período de retorno elevado é a ausência de tarifa de esgoto em Imbituba, que faz com que a economia mensal com a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial ocorra somente por meio da redução dos valores nas faturas de água.

Na análise para diferentes cenários foi possível constatar que a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares é economicamente viável na maioria dos casos testados. Os cenários com maior número de moradores por residência (cinco), áreas de captação ( $160 \text{ m}^2$ ), demanda de água potável (150,2 litros/dia.pessoa), e menores demandas de água pluvial (32,1% da demanda total de água potável), foram os que apresentaram o maior número de casos economicamente viáveis.

É necessário ressaltar que os valores encontrados neste trabalho representam aproximações, pois os custos com mão de obra e com tubulações e acessórios podem variar. A inflação adotada foi de 0,32% ao mês, considerada constante ao longo dos 20 anos do período de análise. Contudo, não é possível determinar a inflação real que acontecerá neste período. Os reajustes anuais das tarifas de água e energia elétrica foram considerados iguais à inflação, porém, não é possível garantir que esses reajustes sejam realizados desta forma.

Apesar das aproximações adotadas no trabalho, foi possível comprovar que a utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares do município de Imbituba pode ser economicamente viável em muitos casos. Deste modo, o aproveitamento de água pluvial deveria receber maiores incentivos, pois além do benefício financeiro proporcionado aos moradores e ao município, também apresenta benefícios ambientais.

### **5.1. Limitações**

Algumas das limitações apresentadas durante a realização deste trabalho foram:

- Dificuldade de obter uma média de consumo mensal real dos moradores da residência por meio das faturas da concessionária, devido à falta de leituras do hidrômetro pelos funcionários da concessionária;
- Falta de precisão no registro realizado pelos moradores no questionário sobre durações e usos de água potável;
- Ausência do projeto hidrossanitário para levantar custos mais precisos com tubulações, acessórios e mão de obra;
- Indisponibilidade de reservatórios com volume acima de 5.000 litros nas lojas pesquisadas no município;
- Dificuldade na determinação da inflação a ser utilizada na análise econômica, tendo em vista que este é um fator que pode sofrer muitas alterações durante o período de análise.

### **5.2. Recomendações para trabalhos futuros**

As recomendações para trabalhos futuros são:

- Verificar as variações na demanda de água ao longo do ano;
- Verificar a viabilidade de sistemas de reúso de água cinza junto de sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Verificar a viabilidade de sistemas de aproveitamento de água pluvial em outros tipos de edificações no município de estudo;
- Realizar a análise econômica para cenários em que existem tarifas de esgoto.

## Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626 – Instalação predial de água fria**, Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527 – Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**, Rio de Janeiro, 2007.
- ANA. **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**, 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 04.mar.2018.
- BERWANGER, H.; GHISI, E. Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in the city of Itapiranga, Brazil. **International Journal of Sustainable Human Development**, v. 2, n. 3, p. 104-114, 2014.
- BEZERRA, S. M. C.; CHRISTAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHS, K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 219-231, 2010.
- CURITIBA. **Decreto nº 293, 22 de março de 2006**. Regulamenta a Lei nº 10.785 de 2003 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Curitiba, 22.mar.2006.
- DALSENTER, M. E. V. **Estudo de potencial de economia de água potável por meio de aproveitamento de água pluvial em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis – SC**. (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- FERREIRA, D. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis – SC**. (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks. **Water Resources Management**, v. 24, p. 2381-2403, 2010.

- \_\_\_\_\_. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, p. 1544-1550, 2006.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>. 2014.
- GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, p. 2512-2522, 2007.
- GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, p. 4107-4120, 2007.
- GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHIMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, p. 204-210, 2006.
- GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses of southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, p. 1731-1742, 2007.
- GHISI, E.; SCHONDERMARK, P. N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2555-2576, 2013.
- HELMREICH, H.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, v.248, p. 118-124, 2009.
- IBGE. **INSTITUTO BRASILEIRO DE ESTATÍSTICA**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=destaques&c=4207304>>. Acesso em: 09.jan.2018.
- IPCA. **ÍNDICE NACIONAL DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO**, 2018. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc\\_ipca/ipca-inpc\\_201802\\_1.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/ipca-inpc_201802_1.shtm)>. Acesso em: 08.abr.2018.

- JONES, M. P.; HUNT, W. F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 623-629, 2010.
- LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, v. 260, p. 1-8, 2010.
- MARINOSKI, A. K. ; RUPP, R. F. ; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 28-39, 2018.
- MEHRABADI, M. H. R.; SAGHAFIAN, B.; FASHI, F. H. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 73, p. 86-93, 2013.
- NAÇÕES UNIDAS. **4,5 bilhões de pessoas não dispõem de saneamento seguro no mundo, 17 Junho 2017**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-45-bilhoes-de-pessoas-nao-dispoem-de-saneamento-seguro-no-mundo/>>. Acesso em: 01.set.2017.
- NOLDE, E. Possibilities of rainwater utilization in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. **Desalination**, v. 215, p. 1-11, 2007.
- PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; LA BARBERA, P. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 62, p. 71-80, 2012.
- ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa Netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, v. 11, p. 47-64, 2011.

SAZAKI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, v. 41, p. 2039-2047, 2007.

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**, 2018. Disponível em: [http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_662](http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_662). Acesso em 29.mai.2018.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. ISBN: 85-87678-23-X, 2010. Disponível em: [http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf). Acesso em: 28.mar.2018.

VILLARREAL, E.; DIXON, A. Analysis of rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrkoping, Sweden. **Building an Environment**, v. 40, p. 1174-1184, 2005.

ZHANG, Y.; CHEN. D.; CHEN, L.; ASHBOLT, S. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 222-226, 2009.



## Apêndices

### Apêndice A – Questionário

Questionário sobre os usos finais da água potável – Quantidades e durações

Data:

Hidrômetro:

Banhos: \_\_\_\_\_

Descargas: \_\_\_\_\_

Escovar os dentes: \_\_\_\_\_

Lavar as mãos: \_\_\_\_\_

Lavar o rosto: \_\_\_\_\_

Fazer a barba: \_\_\_\_\_

Cozinhar: \_\_\_\_\_

Lavar a louça: \_\_\_\_\_

Máquina de lavar roupas: \_\_\_\_\_

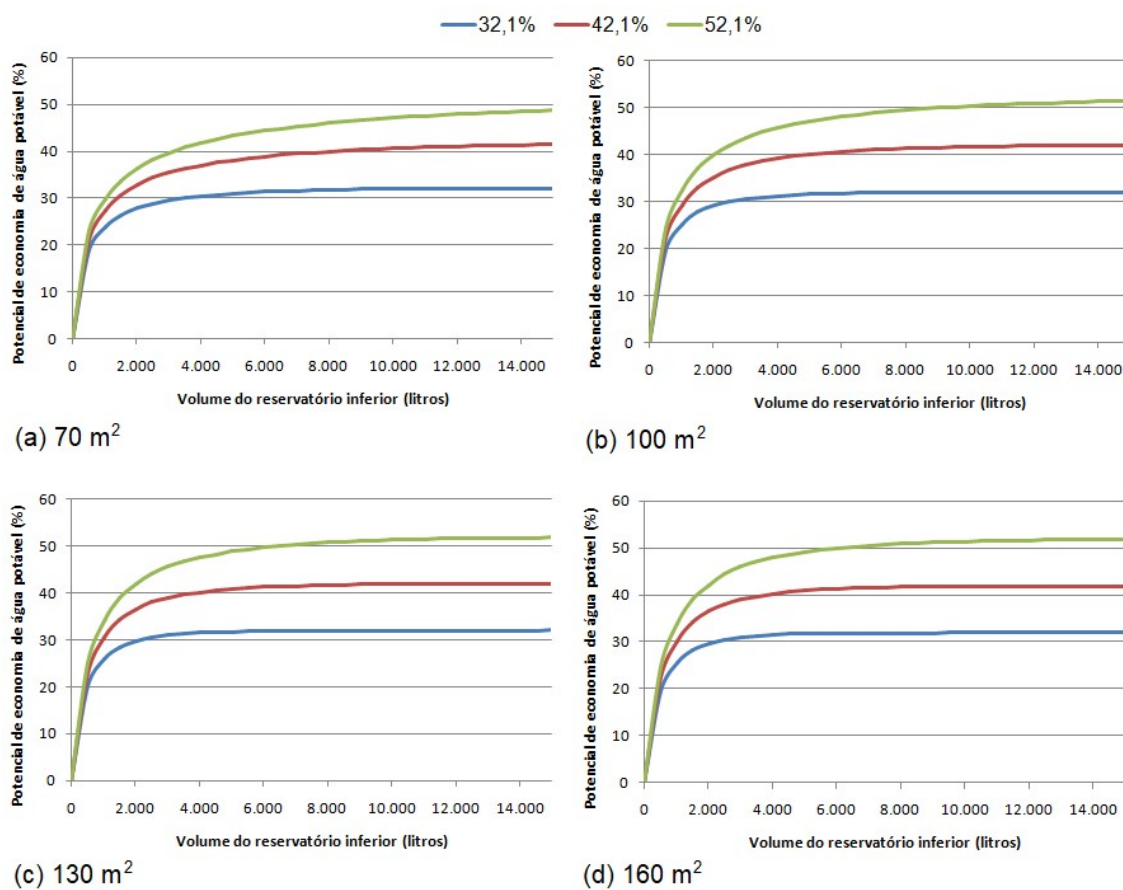
Tanque: \_\_\_\_\_

Torneira quintal: \_\_\_\_\_

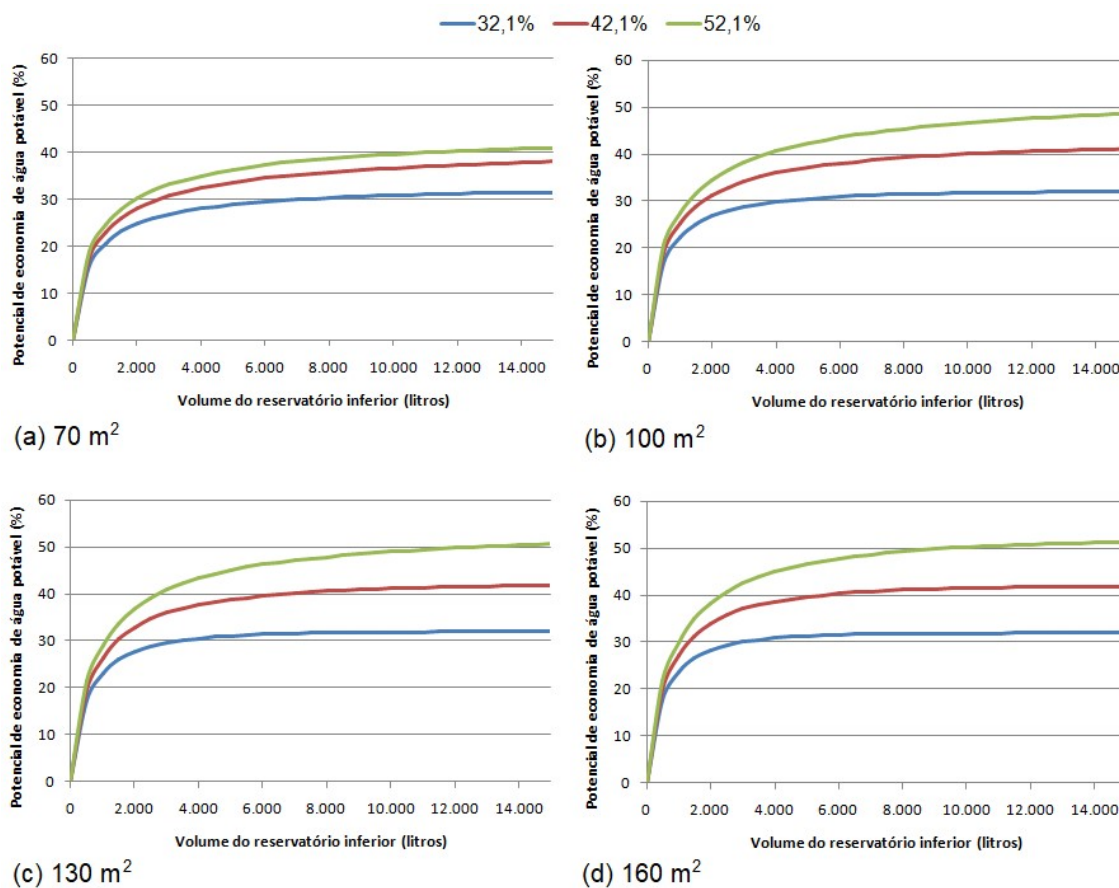
Outros: \_\_\_\_\_

**Apêndice B** – Potenciais de economia de água potável em função dos volumes dos reservatórios inferiores em Imbituba, considerando três, quatro e cinco moradores e demandas diárias de água potável de 125,2 e 150,2 litros por pessoa por dia.

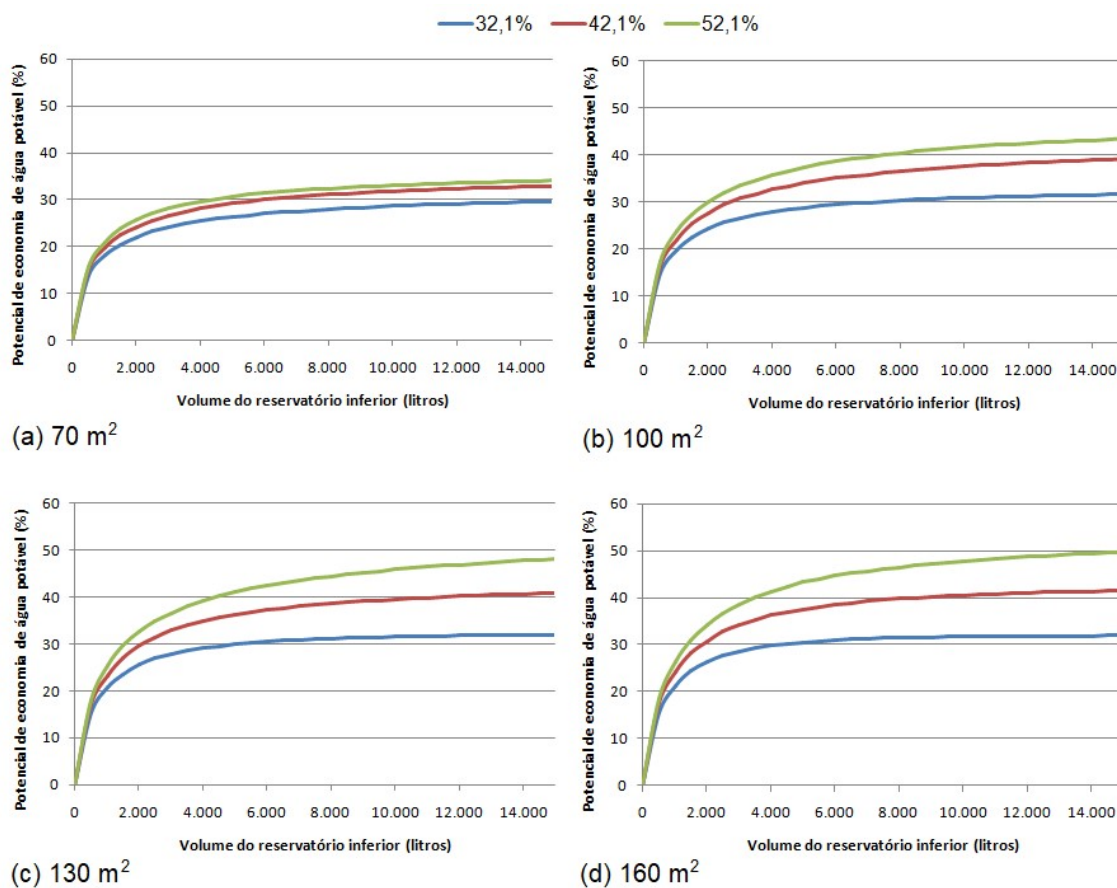
**Figura B.1:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando três moradores e demanda diária de água potável de 125,2 litros/pessoa.dia.



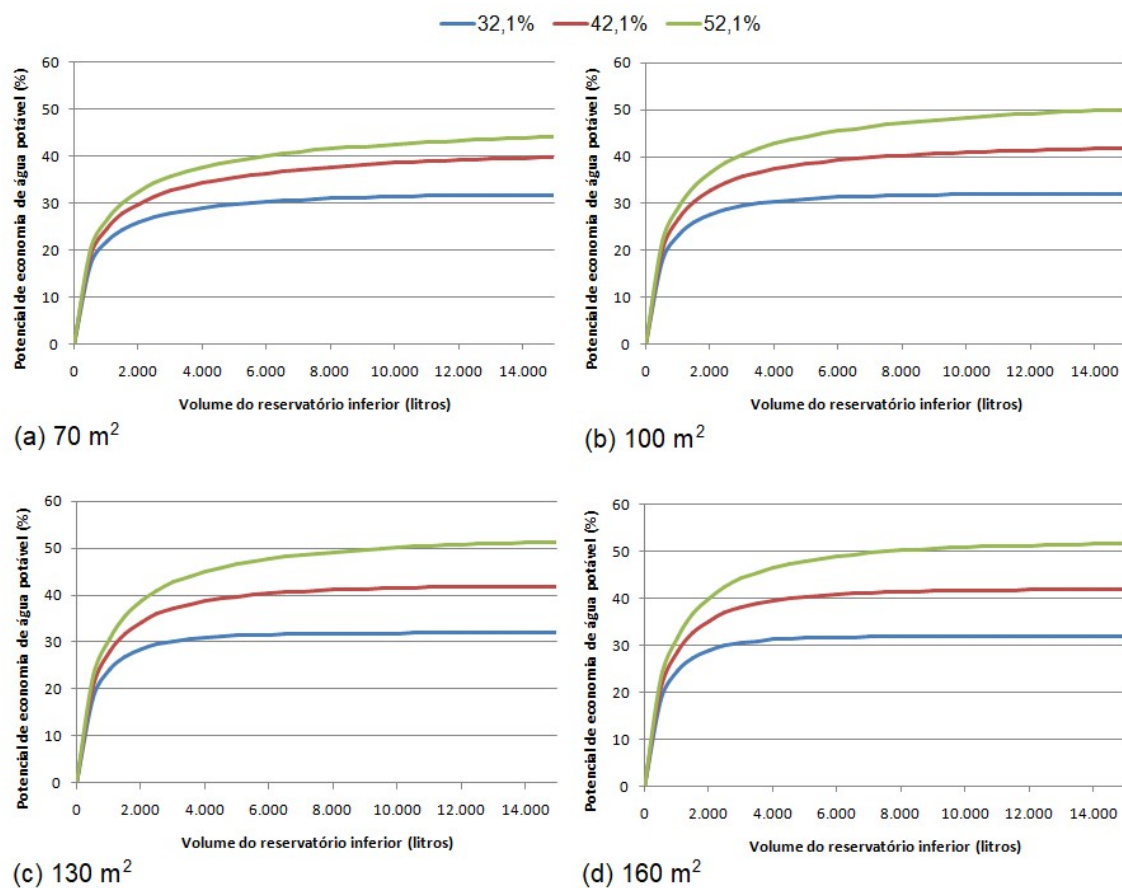
**Figura B.2:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imituba, considerando quatro moradores e demanda diária de água potável de 125,2 litros/pessoa.dia.



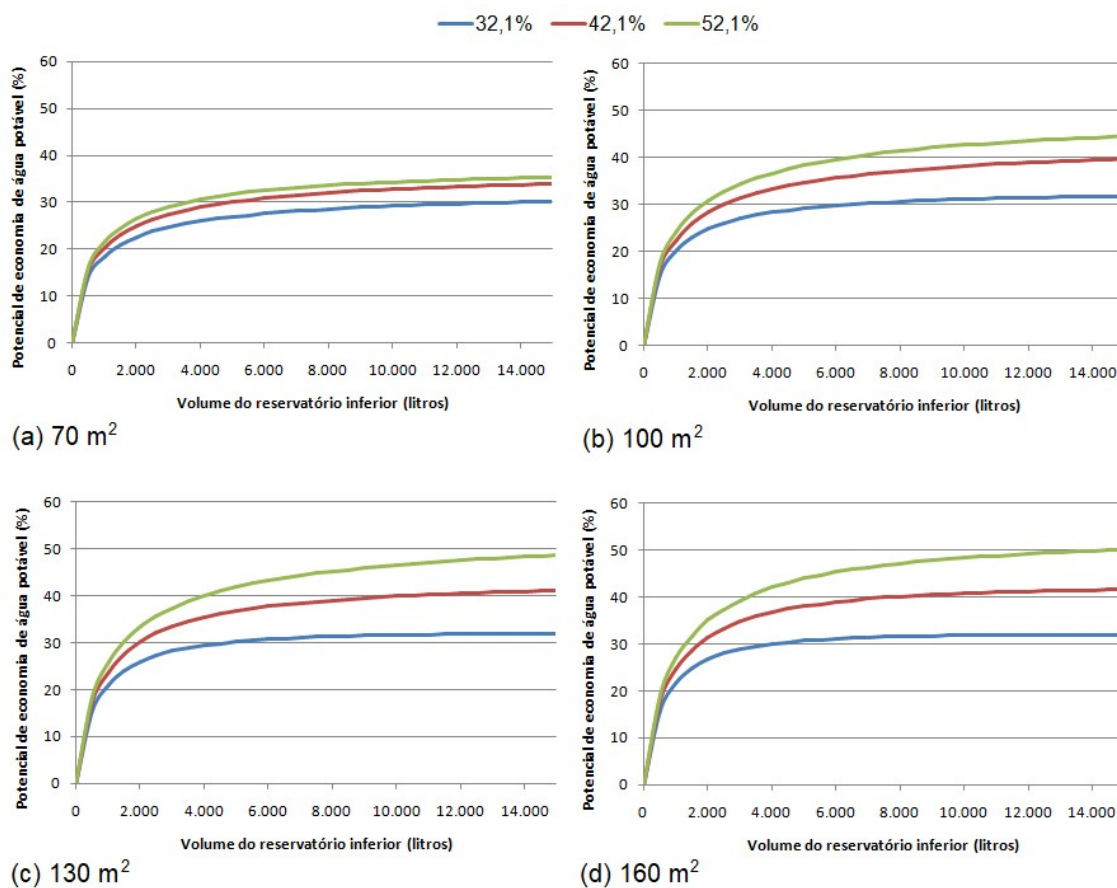
**Figura B.3:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imituba, considerando cinco moradores e demanda diária de água potável de 125,2 litros/pessoa.dia.



**Figura B.4:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imbituba, considerando três moradores e demanda diária de água potável de 150,2 litros/pessoa.dia.



**Figura B.5:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imituba, considerando quatro moradores e demanda diária de água potável de 150,2 litros/pessoa.dia.



**Figura B.6:** Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior em Imituba, considerando cinco moradores e demanda diária de água potável de 150,2 litros/pessoa.dia.

